



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS BIOLÓGICOS DOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NAS ATIVIDADES DE SOLDADURA POR ARCO ELÉTRICO

Paulo António Vilela Peixoto

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura (FEUP)

Arguente: Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão (UTAD)

Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

2014



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

A apresentação deste trabalho cumpre mais uma etapa no meu caminho académico e profissional. Foi desenvolvido com um claro propósito de contribuir com algo estruturado no caminho do conhecimento do tema dos campos eletromagnéticos.

Como em qualquer etapa pessoal ou profissional existem várias pessoas a ladear-nos o caminho para que este se torne mais estável e fácil de percorrer. Neste sentido, quero agradecer a várias pessoas que deram sustentabilidade ao meu objetivo:

Ao meu orientador, Professor Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, pela disponibilidade, confiança e apoio demonstrado desde o primeiro momento.

Ao Professor Dr. João Manuel Abreu dos Santos Baptista, diretor do Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais pela disponibilidade sempre patente.

Aos administradores da ATEC – Academia de formação, Dra. Margarida Gomes da Silva e Dr. Hans-Jürgen Müller, pela disponibilidade na realização da componente prática deste trabalho.

À minha esposa Eliana pelo carinho, compreensão e apoio, e à minha filha Inês, um pedido de desculpa pela ausência de mais brincadeiras.

Ao Venâncio Rocha, amigo e companheiro no desenvolvimento deste trabalho, pela motivação, apoio e companheirismo.

RESUMO

As fontes de radiações não ionizantes encontram-se presentes de forma contínua no nosso quotidiano. Um simples equipamento doméstico como o micro-ondas, a rede de transportes públicos com tração elétrica, os sistemas transmissão de comunicações móveis e a rede nacional de energia elétrica, são fontes inequívocas de campos eletromagnéticos – campos elétricos e campos magnéticos.

Os esforços globais no sentido de garantir uma proteção eficaz a este tipo de radiações resultaram numa série de diretrizes e normas nacionais e internacionais, especificando valores limite de exposição para os campos elétricos e magnéticos, para as várias frequências e tipos de sinais. A *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) tem desenvolvido um conjunto de linhas orientadoras que servem de base para várias Diretivas Europeias, nomeadamente a recente Diretiva 2013/35/UE, de 26 de junho, que define as prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos campos eletromagnéticos.

O presente estudo pretende avaliar os níveis de exposição a campos eletromagnéticos (CEM) a que estão sujeitos os formandos do curso profissional de soldador na execução dos processos de soldadura por arco elétrico, nomeadamente nos processos de soldadura por eléctrodos revestidos (SER) e *metal active gas* (MAG), e comparar os resultados obtidos com os níveis de exposição definidos pela nova Diretiva Europeia 2013/35/UE.

Foi utilizado o analisador de campos eletromagnéticos SPECTRAN NF-5035 para realizar a medição do campo elétrico e da densidade de fluxo magnético. Este equipamento possui um sensor para medição isotrópica (3D) de campos magnéticos variáveis no tempo e campos estáticos. O período de formação prática realizado na academia de formação representa 59,1% da carga horária total, o que corresponde a 754 horas. Neste período, os formandos estão em média 445 horas a executar trabalhos no processo SER e 309 horas no processo MAG. Foram realizadas 148 medições, das quais 64 medições para o processo SER e 84 medições para o processo MAG, em diferentes posições e distâncias.

A densidade de fluxo magnético mostrou uma exposição não homogénea com um amplo espectro de variação [5,21 μT - 703,87 μT] que está diretamente associado ao tipo de processo de soldadura e à distância do ponto de medição. Os valores mais elevados foram obtidos junto aos cabos, 182,87 μT no processo SER e 703,87 μT no processo MAG, e no painel frontal da máquina de soldadura, 138,87 μT no processo SER e 505,12 μT no processo MAG, para uma frequência fundamental de 0 Hz.

Todos os valores medidos são inferiores aos valores limite de exposição (VLE) aplicáveis aos efeitos sensoriais e na saúde definidos para as densidades do fluxo magnético externo da Diretiva 2013/35/UE. Também os níveis de ação (NA) relativo ao risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT) não são ultrapassados. No entanto, para o processo MAG, existe o risco de interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos. Neste processo a medição junto aos cabos e ao painel frontal da máquina ultrapassou os 0,5 mT impostos pela Diretiva 2013/35/UE. Será fundamental no processo de recrutamento e seleção incluir um diagnóstico médico ou uma declaração médica que comprove que o candidato não possui nenhum implante médico ativo. Os resultados obtidos mostram que a densidade de fluxo é inversamente proporcional à distância ao ponto de medição onde está colocada a fonte de CEM, o que induz que será importante garantir que a posição de trabalho se encontra o mais afastado possível do painel frontal da máquina e, dentro do possível, dos cabos de soldadura.

Palavras-chave: campos estáticos, radiações não ionizantes, soldadura por arco elétrico, exposição ocupacional

ABSTRACT

Non-ionizing radiation sources are present constantly in our everyday lives. Simple household appliances such as microwaves, the transmission systems of mobile communications and electric power lines, are unequivocal sources of electromagnetic fields.

Global efforts to ensure effective protection for this type of radiation resulted in a number of national and international guidelines and standards, requiring limit values for exposure to electric and magnetic fields for various frequencies and signal types. The International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) has developed a set of guidelines that is a base of support for various European Directives, including the recent 2013/35/EU directive of 26 June, which defines the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).

The aim of the present study is to assess the levels of electromagnetic fields (EMF) which the apprentices of the welding course are exposed to in the execution of the arc welding processes in the practical training of the course, more concretely in the manual metal arc process (MMA) and metal active gas process (MAG), and compare the results with the levels of exposure established by the new European Directive 2013/35/EU.

The electromagnetic fields analyzer, Spectran NF-5035, was used for the measurement of electric field and magnetic flux density. This equipment has a sensor for measuring isotropic (3D) for time-varying fields and static magnetic fields. The practical training in the academy represents 59,1% of the total of the welding course, which corresponds to 754 hours. In this period trainees take, on average, 445 hours to perform work in MMA process and 309 hours in MAG process. 148 measurements were performed, of which 64 measurements in MMA process and 84 in MAG process, at different positions and distances.

The magnetic flux density indicated a non-uniform exposure to a wide spectrum range [5,21 μT - 703,87 μT] which is directly associated with the type of welding process and the distance measuring point. The highest values were obtained near the cables, 182.87 μT in the MMA process and 703.87 μT in the MAG process, and in the front panel of the welding machine, 138.87 μT in the MMA process and 505.12 μT in the MAG process, for a fundamental frequency of 0 Hz.

All measures are under the Exposure Limit Value (ELV) for external magnetic flux densities defined in the 2013/35/EU. Also the Action Level (AL) for the risk of attraction and projectile risk in the fringe field of high field strength sources ($> 100 \text{ mT}$) are not exceeded. However, for the MAG process, there is the risk of interference with active implanted devices, e.g. cardiac pacemakers. In this process the measure near the cables and in the front panel of the machine exceeded the value 0,5 mT defined by 2013/35/EU directive. It is important to include in the recruitment and selection process of the apprentices a medical diagnosis or a medical declaration that confirms which candidate has no active medical implant. The results show that the flux density is inversely proportional to the distance to the measurement point, which induces what will be important to guarantee that the work position is the farthest possible from the front panel of the machine and the welding cables.

Keywords: static fields, non-ionizing radiation, arc welding, occupational exposure

ÍNDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | ESTADO DA ARTE | 3 |
| 2.1 | Conhecimento Científico..... | 3 |
| 2.1.1 | Campos eletromagnéticos..... | 3 |
| 2.1.2 | Espetro eletromagnético | 5 |
| 2.1.3 | Origem e fontes dos campos eletromagnéticos | 6 |
| 2.1.4 | Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos | 18 |
| 2.1.5 | Processos de soldadura por arco elétrico | 31 |
| 2.1.6 | Revisão sistemática com a aplicação da metodologia PRISMA | 34 |
| 2.2 | Enquadramento Legal e Normativo | 41 |
| 2.2.1 | Orientação das organizações internacionais | 41 |
| 2.2.2 | Disposições regulamentares e normativas | 50 |
| 3 | OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS | 57 |
| 3.1 | Objetivos da Dissertação | 57 |
| 3.2 | Materiais e Métodos | 57 |
| 3.2.1 | Contexto da Dissertação | 57 |
| 3.2.2 | Equipamentos e protocolos de medição | 61 |
| 4 | RESULTADOS | 67 |
| 5 | DISCUSSÃO..... | 75 |
| 6 | CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS | 79 |
| 6.1 | Conclusões | 79 |
| 6.2 | Perspetivas Futuras..... | 80 |
| 7 | BIBLIOGRAFIA..... | 81 |
| | ANEXOS | 85 |
| | ANEXO I – Cronograma de formação | |
| | ANEXO II – Resultados globais obtidos no processo SER | |
| | ANEXO III – Resultados globais obtidos no processo MAG | |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – <i>Near and Far Fields</i> (IARC, 2009) | 4 |
| Figura 2 – Ondas eletromagnéticas (IARC, 2013) | 5 |
| Figura 3 – Espectro eletromagnético (NRPB, 2001) | 6 |
| Figura 4 – Campo geomagnético (Paulo Liberato, 2008) | 7 |
| Figura 5 – Produção, transporte e distribuição de energia elétrica (Paulo Liberato, 2008) | 8 |
| Figura 6 – Campo elétrico numa linha aérea de transmissão (NRPB, 2001) | 9 |
| Figura 7 – Densidade de fluxo magnético numa linha aérea de transmissão (NRPB, 2001) | 10 |
| Figura 8 – Densidade de fluxo magnético numa linha aérea e subterrânea (NRPB, 2001) | 11 |
| Figura 9 – Variação de B com a profundidade do cabo subterrânea (Paulo Liberato, 2008) | 12 |
| Figura 10 – Variação de B com a altura de medição ao solo (Paulo Liberato, 2008) | 12 |
| Figura 11 – Sistema de alimentação de uma locomotiva de tração elétrica CA | 14 |
| Figura 12 – Sistema de alimentação de um veículo híbrido elétrico (Halgamuge et al., 2010).... | 15 |
| Figura 13 – Soldadura TIG, 50 Hz, sinusoidal, 33% duty-cycle (Mair P., 2005) | 16 |
| Figura 14 – Soldadura TIG, 50 Hz, quadrada, 33% duty-cycle (Mair P., 2005) | 16 |
| Figura 15 – Soldadura MAG, 234 Hz frequência impulso (Mair P., 2005) | 16 |
| Figura 16 – Corrente de ondulação num retificador trifásico (Mair P., 2005) | 17 |
| Figura 17 – Corrente de ondulação num inversor (Mair P., 2005) | 17 |
| Figura 18 – Campo elétrico e linhas equipotenciais nas células (Sá, 2011) | 19 |
| Figura 19 – Anatomia do coração | 23 |
| Figura 20 – Localização do núcleo supraquiasmático | 27 |
| Figura 21 – Processo de soldadura SER | 32 |
| Figura 22 – Processo de soldadura MIG/MAG | 32 |
| Figura 23 – Sistema de soldadura MIG/MAG | 33 |
| Figura 24 – Processo de soldadura TIG | 33 |
| Figura 25 – Revisão sistemática (metodologia PRISMA) | 35 |
| Figura 26 – Estudo da dosimetria ao nível do pulso (Yamaguchi-Sekino et al., 2011) | 37 |
| Figura 27 – Níveis de referência ICNIRP para exposição ocupacional (Grassi et al., 2012) | 38 |
| Figura 28 – Limitações básicas para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010) .. | 44 |
| Figura 29 – Níveis de referência para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010) .. | 46 |
| Figura 30 – Estrutura curricular do curso de Soldador | 59 |
| Figura 31 – Planeamento do curso de Soldador: Semana 1-5 | 60 |
| Figura 32 – Planeamento do curso de Soldador: Semana 35-39 | 60 |
| Figura 33 – Exposição mensal dos formandos a CEM | 62 |
| Figura 34 – Perspetiva da área de soldadura | 63 |
| Figura 35 – Máquina de soldadura ESAB C3000i | 63 |
| Figura 36 – Analisador SPECTRAN NF-5035 | 65 |
| Figura 37 – Medição para avaliação da exposição aos cabos de soldadura | 65 |
| Figura 38 – Medição da tensão de soldadura no processo SER | 67 |

| | |
|--|----|
| Figura 39 – Onda da tensão de saída no processo SER | 67 |
| Figura 40 – Processo de soldadura SER e parâmetros de regulação da máquina | 68 |
| Figura 41 – Medição ao nível da mão (porta-eléktodos) no processo SER..... | 70 |
| Figura 42 – Gráfico do campo magnético ao nível dos cabos no processo SER (d = 1 cm) | 70 |
| Figura 43 – Gráfico do campo magnético no painel frontal no processo SER (d = 1 cm) | 71 |
| Figura 44 – Gráfico do campo elétrico ao nível dos cabos no processo SER (d = 1 cm)..... | 71 |
| Figura 45 – Processo de soldadura MAG e parâmetros de regulação da máquina | 72 |
| Figura 46 – Medição ao nível do painel frontal da máquina e da cabeça no processo MAG..... | 72 |
| Figura 47 – Gráfico do campo magnético ao nível dos cabos no processo MAG (d = 1 cm) | 73 |
| Figura 48 – Gráfico do campo magnético no painel frontal no processo MAG (d = 1 cm) | 73 |
| Figura 49 – Variação de B com a distância do ponto de medição | 76 |
| Figura 50 – Variação de $B_{máx.}$ para as diferentes posições de medição no processo SER..... | 76 |
| Figura 51 – Variação de $B_{máx.}$ para as diferentes posições de medição no processo MAG..... | 76 |
| Figura 52 – Sistema de extração da cabine e máscara FFP2 NR | 77 |
| Figura 53 – Cortinas de proteção de radiações óticas | 78 |
| Figura 54 – Fardamento e equipamentos de proteção individual dos formandos..... | 78 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Grandezas de caracterização dos campos eletromagnéticos (IARC, 2002) | 5 |
| Tabela 2 – Variação do campo elétrico com a distância da linha aérea (NRPB, 2001)..... | 9 |
| Tabela 3 – Variação da densidade de fluxo magnético numa linha aérea (NRPB, 2001) | 10 |
| Tabela 4 – Valores de E e B para equipamentos de utilização diária (Paulo Liberato, 2008) | 13 |
| Tabela 5 – Campos magnéticos no sistema ferroviário (World Health Organization, 2007) | 14 |
| Tabela 6 – Campo magnético num veículo híbrido elétrico (Halgamuge et al., 2010)..... | 15 |
| Tabela 7 – Densidade de fluxo magnético em diferentes tipos de indústria (NIEHS, 2002)..... | 18 |
| Tabela 8 – Estudos epidemiológicos: efeito dos CEM-FEB e as DC (McNamee et al., 2009) | 24 |
| Tabela 9 – Estudos laboratoriais: efeito dos CEM-FEB na PA (McNamee et al., 2009) | 25 |
| Tabela 10 – Estudos laboratoriais: efeito dos CEM-FEB na FC e VFC (McNamee et al., 2009) .. | 25 |
| Tabela 11 – Classificação das evidências científicas segundo a EFHRAN (EFHRAN, 2012) | 30 |
| Tabela 12 – Resultados do conhecimento científico para os CM-FEB (EFHRAN, 2012)..... | 31 |
| Tabela 13 – Artigos analisados por assunto tratado e ano de publicação | 36 |
| Tabela 14 – Resumo dos efeitos biológicos dos CEM na profissão de soldador..... | 39 |
| Tabela 15 – Limitações básicas para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010) ... | 44 |
| Tabela 16 – Níveis de referência para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010) . | 45 |
| Tabela 17 – Limites de exposição a CME (ICNIRP, 2009)..... | 48 |
| Tabela 18 – Classificação do potencial cancerígeno de agentes químicos e físicos pela IARC..... | 49 |
| Tabela 19 – VLE aplicáveis ao efeitos na saúde (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE | 52 |
| Tabela 20 – VLE aplicáveis ao efeitos sensoriais (1 – 400 Hz) - Diretiva 2013/35/UE..... | 52 |
| Tabela 21 – NA para exposição a campos elétricos (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE | 53 |
| Tabela 22 – NA para exposição a campos magnéticos (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE.. | 54 |
| Tabela 23 – VLE para B externo (0 – 1 Hz) - Diretiva 2013/35/UE | 54 |
| Tabela 24 – NA para densidades de fluxo magnético (0 – 1 Hz) - Diretiva 2013/35/UE..... | 54 |
| Tabela 25 – Oferta formativa da ATEC – Academia de Formação | 58 |
| Tabela 26 – Estrutura curricular do curso de Soldador..... | 59 |
| Tabela 27 – Exposição média mensal dos formandos a CEM | 61 |
| Tabela 28 – Distribuição da exposição por processo de soldadura..... | 62 |
| Tabela 29 – Características técnicas máquinas ESAB C3000i | 63 |
| Tabela 30 – Parâmetros do processo SER e MAG durante as medições | 63 |
| Tabela 31 – Características dos equipamentos de medição da tensão no processo SER..... | 64 |
| Tabela 32 – Características do analisador SPECTRAN NF-5035 | 64 |
| Tabela 33 – Parâmetros reais medidos nos processos de soldadura SER e MAG | 68 |
| Tabela 34 – Resultados obtidos no processo de soldadura SER | 69 |
| Tabela 35 – Resultados obtidos no processo de soldadura MAG | 74 |

SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| CA | Corrente alternada |
| CC | Corrente contínua |
| CE | Campos elétricos |
| CE-FEB | Campos elétricos de frequências extremamente baixas |
| CEM | Campos eletromagnéticos |
| CEM-FEB | Campos eletromagnéticos de frequências extremamente baixas |
| CEM-RF | Campos eletromagnéticos de radiofrequências |
| CM | Campos magnéticos |
| CME | Campos magnéticos estáticos |
| CM-FEB | Campos magnéticos de frequências extremamente baixas |
| DC | Doenças cardiovasculares |
| DCC | Doença coronária crônica |
| EAM | Enfarte agudo do miocárdio |
| ELA | Esclerose lateral amiotrófica |
| FC | Frequência cardíaca |
| FEB | Frequências extremamente baixas |
| FPCT | Formação Prática em Contexto de Trabalho |
| IARC | <i>International Agency for Research on Cancer</i> |
| ICE | Intensidade do campo elétrico |
| ICNIRP | <i>International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection</i> |
| LB | Limitação básica |
| LMA | Leucemia mieloide aguda |
| MIG | Soldadura MIG (<i>metal inert gas</i>) |
| MAG | Soldadura MAG (<i>metal active gas</i>) |
| NIEHS | <i>National Institute of Environmental Health Sciences</i> |
| NR | Nível de referência |
| NA | Nível de ação |
| NRPB | <i>National Radiological Protection Board</i> |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| PA | Pressão arterial |
| RF | Radiofrequência |
| RM | Ressonância magnética |
| RNT | Rede nacional de transporte |
| RND | Rede nacional de distribuição |
| SER | Soldadura por eletrodos revestidos (<i>shielded metal arc welding</i>) |
| SNC | Sistema Nervoso Central |
| TIG | Soldadura TIG (<i>tungsten inert gas</i>) |

| | |
|-----|---------------------------------|
| VFC | Variação da frequência cardíaca |
| VHE | Veículos híbridos elétricos |
| VLE | Valores limite de exposição |
| SN | Sistema nervoso |
| SNC | Sistema nervoso central |
| SNP | Sistema nervoso periférico |

1 INTRODUÇÃO

O mundo em que vivemos está imbuído em inúmeras radiações eletromagnéticas, sejam elas de origem natural, como é o caso da radiação solar e do campo geomagnético da terra, ou de carácter artificial, onde o homem é o principal responsável, como as linhas de transmissão de energia elétrica, as antenas de transmissão de rádio e televisão, as antenas de comunicações móveis, os sistemas de segurança nos aeroportos e os equipamentos domésticos de utilização diária.

A revolução industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, e que em poucas décadas se espalhou pela Europa Ocidental e pelos Estados Unidos, foi a alavanca para o mundo tecnológico de hoje. Esta evolução tem sido um denominador comum ao longo dos tempos e o resultado encontra-se visível na diversidade de radiações que compõem o espectro eletromagnético existente nos dias de hoje. Os campos eletromagnéticos (CEM), nas suas várias frequências, representam, assim, uma das influências ambientais mais comuns e de mais rápido crescimento e, por conseguinte, criam um efeito crescente de especulação e ansiedade. Esta exposição ocorre em diferentes graus, em todas as populações do mundo, e os níveis continuarão a aumentar com este avanço tecnológico. Assim, mesmo uma pequena consequência da exposição a CEM poderá ter um grande impacto na saúde pública a nível global.

A questão fundamental não será eliminar as fontes artificiais geradoras de radiações eletromagnéticas, mas sim conhecer e controlar, em caso identificação de risco associado, os seus efeitos e impactos nos seres humanos. Seria impensável a vida no século XXI sem eletricidade, televisão, telecomunicações móveis e internet. De uma forma geral, o comportamento social das sociedades dos países desenvolvidos dependem da existência destes confortos.

O estudo epidemiológico desenvolvido por *Wertheimer e Leeper* em 1979 no estado do Colorado nos Estados Unidos, que induzia uma potencial relação entre CEM de frequências extremamente baixas (CEM-FEB) e a leucemia infantil linfoblástica entre crianças que moravam na proximidade de linhas de distribuição de energia elétrica, foi o catalisador para um conjunto de outros estudos para validar tais resultados. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de apurar a potencial relação dos CEM e o risco de determinado tipo de cancro, a depressão, as doenças neurodegenerativas, o sistema cardiovascular, as alterações citogenéticas e o sistema hematopoiético.

Em resposta à preocupação pública generalizada sobre os efeitos da exposição a CEM na saúde, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu em 1996 o *International EMF Project* com o objetivo de avaliar os efeitos na saúde da exposição a campos elétricos (CE) e magnéticos (CM) estáticos e variáveis no tempo na gama de frequências de 0 a 300 GHz. Este projeto incentivou a pesquisa focada para preencher lacunas importantes no conhecimento e potenciou o desenvolvimento de padrões aceitáveis internacionalmente para limitar a exposição a CEM.

Com o contributo de inúmeros estudos a *International Agency for Reserach on Cancer* (IARC) classificou os campos magnéticos de frequências extremamente baixas (CM-FEB) e os campos eletromagnéticos de radiofrequência como possivelmente cancerígeno para os seres humanos, grupo 2B, grupo onde também estão integrados os fumos originados pelos processos de soldadura, e como não classificável como cancerígeno para os seres humanos, grupo 3, os campos elétricos de frequência extremamente baixa (CE-FEB) e os campos magnéticos estáticos (CME).

A *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) tem como objetivo principal proporcionar à população em geral informações e orientações sobre os potenciais riscos para a saúde da exposição às radiações não ionizantes e tem desenvolvido um conjunto de linhas orientadoras que servem de base de sustentação para várias Diretivas Europeias, nomeadamente

a Diretiva 2013/35/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho publicada em 26 de junho, que define as prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos campos eletromagnéticos, e que revoga a anterior Diretiva 2004/40/CE, de 29 de abril.

A soldadura industrial é utilizada em larga escala, na construção naval, na construção civil, na manutenção e na indústria automóvel, e representa uma das atividades profissionais com maior exposição a CEM. O soldador, devido às particularidades do processo de soldadura, está muito próximo da máquina de soldadura e dos cabos de alimentação, e em contato direto com a tocha ou o porta-eléttodos.

Existem vários processos de soldadura, sendo os mais utilizados a soldadura por arco elétrico, nomeadamente soldadura por eléctrodos revestidos (SER), a *Metal Active Gas* (MAG), a *Metal Inert Gas* (MIG) e a *Tunsten Inert gas* (TIG), e a soldadura por resistência. O valor elevado da intensidade de corrente elétrica envolvida nos processos de soldadura origina elevados CEM que, dependendo do processo específico e da tecnologia, apresentam uma frequência fundamental entre de 0 Hz a algumas centenas de kHz.

De uma forma geral, os estudos desenvolvidos em várias áreas de intervenção são focados na população em geral, ou no público ocupacional, onde os limites de exposição são mais permissivos devido à consciencialização do profissional perante os riscos da própria atividade. A atividade de formação impõe uma abordagem dupla, onde, por um lado, os formandos são sensibilizados para os riscos associados à atividade para a qual estão a receber formação, por outro, devido à sua in experiência estão expostos a condições que muitas vezes negligenciam.

A dualidade muito própria que carateriza este público-alvo, a pertinência do tema no contexto profissional, o incremento de profissões na área da soldadura, a escassez de estudos existentes a nível nacional e internacional, aliado à recente publicação da Diretiva 2013/35/UE, que impõe novos níveis de exposição aos CEM, são os vetores que justificam a escolha do tema da dissertação.

O presente estudo pretende avaliar os níveis de exposição a CEM a que estão sujeitos os formandos do curso profissional de soldador na execução dos processos de soldadura por arco elétrico, nomeadamente no processo de soldadura SER e MAG, e comparar os resultados obtidos com os níveis de exposição definidos pela nova Diretiva Europeia 2013/35/UE. Constituirá, assim, a base de trabalho responder à seguinte questão de investigação: **A exposição a CEM produzidos pelos processos de soldadura por arco elétrico provocam efeitos biológicos no corpo humano?**

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Conhecimento Científico

2.1.1 Campos eletromagnéticos

Os campos eletromagnéticos são compostos por campos elétricos e campos magnéticos e estão diretamente relacionados com a passagem da corrente elétrica (Marcilio & Gouveia, 2009).

Os **campos elétricos** são produzidos por cargas elétricas, independentemente do seu estado de movimento. Uma única carga num ponto produz um campo elétrico em todas as direções com um padrão com simetria esférica e dimensão infinita. Uma linha elétrica, por exemplo uma linha de transporte de energia elétrica, produz um campo elétrico com um padrão de simetria cilíndrica em torno de si própria. Na prática, não é possível existir uma única carga isolada ou um objeto isolado carregado eletricamente. As linhas de força ou linhas de campo não são indefinidamente longas, mas terminam em outra carga já presente num condutor vizinho ou numa carga induzida pelo próprio campo do objeto condutor. De um modo geral, o padrão do campo elétrico em qualquer ponto depende da distribuição de cargas e dos objetos vizinhos. As cargas elétricas estão relacionadas com as diferenças de potencial ou tensões, e não com as correntes elétricas ou potências (World Health Organization, 2007).

O campo elétrico, E , expressa-se em volts por metro ($V.m^{-1}$). A relação entre o campo elétrico e a densidade de corrente elétrica é apresentada na equação 1 (ICNIRP, 2010):

$$J = \sigma \cdot E \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

J é a densidade de corrente

σ corresponde à condutividade do material

E representa o campo elétrico

Os **campos magnéticos** são produzidos pelas cargas em movimento e, assim, são proporcionais à corrente elétrica, independentemente da tensão utilizada. A corrente que flui em qualquer condutor, independentemente da sua forma, pode ser decomposta numa série de segmentos infinitamente pequenos. O campo magnético produzido por um elemento de corrente é dado pela lei de Biot-Savart (World Health Organization, 2007):

$$\frac{|dH|}{dl} = \frac{i}{4\pi r^2} \cdot \sin(\varphi) \quad \text{(Equação 2)}$$

em que dH é a variação da intensidade de campo magnético produzida pela corrente i no elemento condutor dl numa posição r do espaço. O ângulo φ representa o ângulo entre dl e r .

Um campo magnético pode ser especificado de duas formas, como densidade do fluxo magnético, B , expresso em Tesla (T), ou como intensidade do campo magnético, H , expresso em ampere por metro ($A.m^{-1}$). As duas grandezas estão relacionadas pela equação 3 (ICNIRP, 2010):

$$B = \mu \cdot H \quad \text{(Equação 3)}$$

em que μ corresponde à constante de proporcionalidade (permeabilidade magnética). No vácuo e no ar, bem como em materiais não magnéticos, incluindo biológicos, o μ tem o valor $4\pi \times 10^{-7}$ quando expresso em henry por metro (H.m^{-1}).

Na região de campo distante (*far-field region*) o modelo de onda plana é uma boa aproximação da propagação do campo eletromagnético. Apresentam-se de seguida as características de uma onda plana (ICNIRP, 1998):

- As ondas têm uma geometria plana;
- Os vetores E e H e a direção de propagação são perpendiculares entre si;
- Apresentam a mesma fase dos campos E e H, e o quociente entre a amplitude de E/H apresenta um valor constante ao longo do espaço. A impedância característica do vácuo é dada pela relação das suas amplitudes: $E / H = 377 \, \Omega$ (ohm);
- A densidade de potência (S) que representa a energia por unidade de área perpendicular à direção de propagação, está relacionada com os campos elétrico e magnético pela equação 4:

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2 \quad (\text{Equação 4})$$

A situação na região de campo próximo (*near-field region*) é mais complexa, porque os máximos e mínimos de campos E e H não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação como na região de campos distantes. No campo próximo, a estrutura do campo eletromagnético pode ser altamente heterogênea, e podem existir, inclusivamente, variações substanciais da impedância de onda plana, ou seja, podem existir campos E quase puros em algumas regiões e campos H quase puros em outras. As exposições dos campos próximos são mais difíceis de particularizar, porque ambos os campos, E e H, devem ser medidos, sendo os seus padrões mais complexos. Nesta situação, a densidade de potência não é uma quantidade apropriada para utilizar na expressão de restrições de exposição como na região de campo distante (ICNIRP, 1998). A figura 1 representa a região de campo próximo e de campo distante.

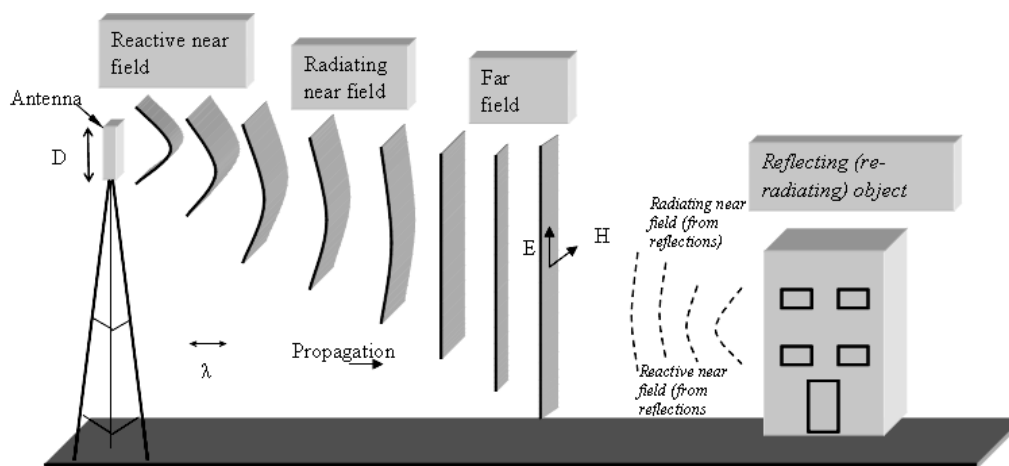


Figura 1 – Near and Far Fields (IARC, 2009)

Enquanto as cargas e as correntes elétricas são estáticas, a eletricidade e o magnetismo apresentam fenómenos distintos. A distribuição de carga variável no tempo resulta de uma interligação dos campos elétricos (CE) e magnéticos (CM) que intensificam a sua força com o aumento da frequência. As características e interações dos campos elétricos e magnéticos são completamente descritos pelas equações de Maxwell (World Health Organization, 2007).

Os campos elétricos e magnéticos variam em planos perpendiculares um ao outro e com a direção de propagação de energia, conforme representado na figura 2 (IARC, 2013).

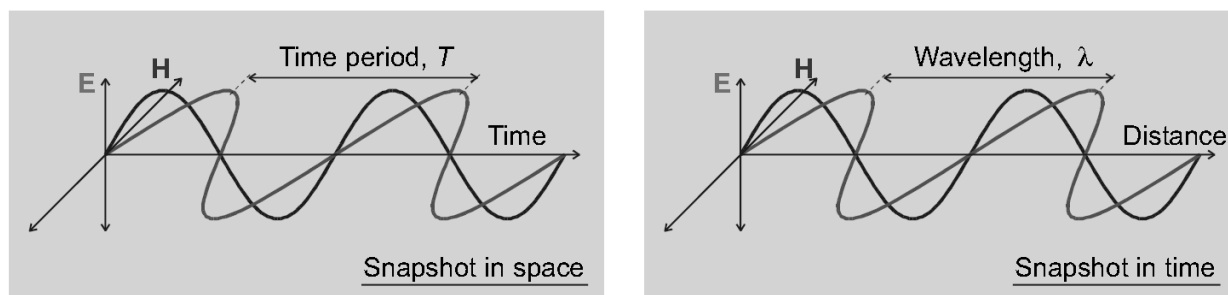


Figura 2 – Ondas eletromagnéticas (IARC, 2013)

O comprimento de onda (λ) é a distância entre dois ciclos sucessivos de onda e está relacionado com a frequência (f) através da equação 5:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{(Equação 5)}$$

em que:

c representa a velocidade da luz

Para a frequência de 50 Hz, o comprimento de onda é 6000 km. Em comparação, uma onda de rádio com uma frequência de 100 kHz tem um comprimento de onda de 3 km (World Health Organization, 2007).

As grandezas e as respectivas unidades para caracterizar as radiações eletromagnéticas são apresentadas na tabela 1 (IARC, 2002):

Tabela 1 – Grandezas de caracterização dos campos eletromagnéticos (IARC, 2002)

| Grandeza | Símbolo ^a | Unidade SI | Símbolo |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------|
| Intensidade de campo elétrico | E | Volt/metro | V/m |
| Densidade de fluxo magnético | B | Tesla | T |
| Intensidade do campo magnético | H | Ampere por metro | A/m |
| Densidade de corrente | J | Ampere por metro quadrado | A/m ² |
| Frequência | f | Hertz | Hz |
| Densidade de carga | ρ | Coulomb/metro cúbico | C/m ³ |
| Condutividade | σ | Siemens/metro | S/m |
| Corrente | I | Ampere | A |
| Carga | q | Coulomb | C |
| Força | F | Newton | N |
| Permitividade | ε | Farad por metro | F/m |
| Permeabilidade | μ | Henry por metro | H/m |

Considerações: 1 gauss (G) = 10⁻⁴ Tesla (T)

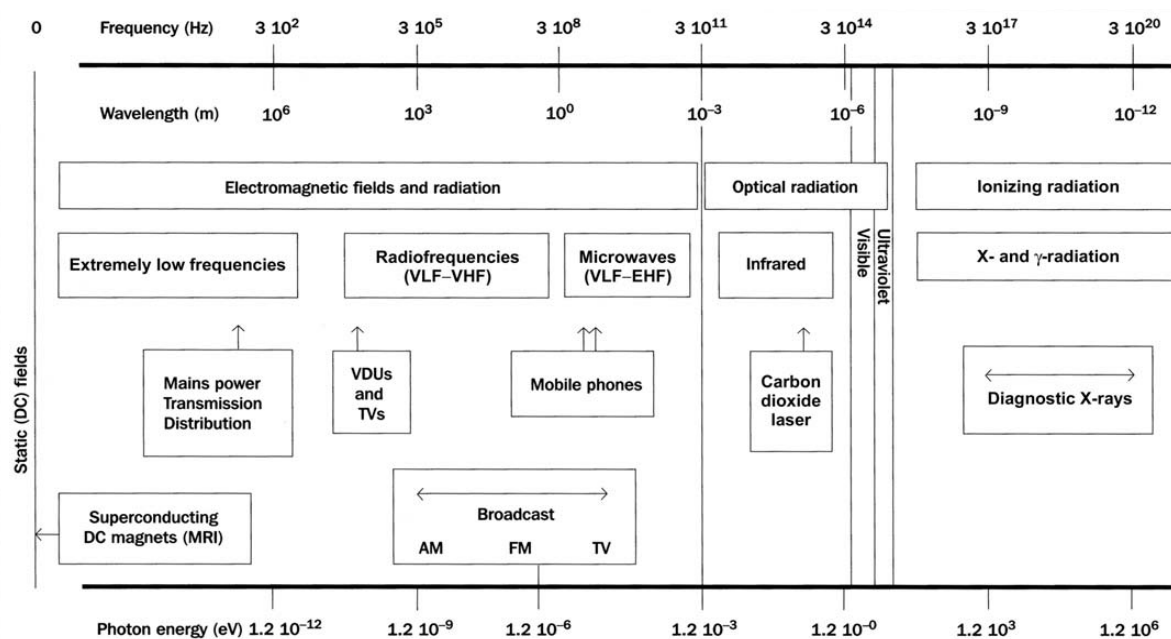
Constantes: Permitividade no vácuo: $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m; Permeabilidade no vácuo: $\mu_0 = 12,57 \times 10^{-7}$ H/m

^a As grandezas vetoriais são representadas a negrito

2.1.2 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético abrange todo o período da radiação eletromagnética. Inclui os raios gama, com comprimentos de onda curtos de aproximadamente 10⁻¹³ m e frequências altas da ordem dos 10²¹ Hz, as ondas rádio, com comprimentos de onda longos da ordem dos 10² m e

baixas frequências da ordem de 10^6 Hz, e as frequências associadas à utilização comercial e residencial, a que correspondem comprimentos de onda muito longos de 10^6 m e frequências muito baixas da ordem dos 60 Hz. Nos tempos passados, a luz solar e seus reflexos lunares ocupavam a maior parte do espectro visível. Nos dias de hoje, vários tipos de luz artificial têm substituído o sol como principal fornecedor desta componente do espectro. Além disso, os campos eletromagnéticos de outras partes do espectro tornaram-se onnipresentes no cotidiano das sociedades, como as redes *wireless* e as telecomunicações. Nas últimas duas ou três décadas, o crescimento explosivo da indústria das telecomunicações móveis colocou muitas residências num raio de menos de um quilômetro de uma torre de transmissão de sinal (Kostoff & Lau, 2013). A figura 3 apresenta o espectro eletromagnético.



Considerações: AM - Modulação de amplitude; DC - Corrente contínua; EHF - Frequência extremamente alta; eV - elétron-volt; FM - Modulação de frequência; MRI - Ressonância magnética; TV - Televisão; VDU - Unidade de visualização; VHF - Frequência muito alta; VLF - Frequência muito baixa

Figura 3 – Espectro eletromagnético (NRPB, 2001)

Dependendo da sua energia, as radiações eletromagnéticas podem classificar-se em radiações ionizantes, quando exercem propriedades ionizantes, ou seja, quando a sua energia é suficientemente forte para desprender elétrons das suas órbitas e para ionizar os átomos como é o caso dos raios X ou raios γ . A exposição a longos períodos a este tipo de radiações tem efeitos prejudiciais à saúde. Por outro lado, as radiações não ionizantes não apresentam energia suficiente para ionizar moléculas e são consideradas, pelo menos conceptualmente, como não prejudiciais à saúde (Artacho-Cordón et al., 2013).

2.1.3 Origem e fontes dos campos eletromagnéticos

Os CEM podem ser divididos em dois grupos principais: **CEM naturais**, incluindo o campo geomagnético da terra, e os **CEM artificiais**, abrangendo, por exemplo, os transformadores, as linhas de transmissão de energia elétrica, os equipamentos domésticos e as antenas de transmissão de rádio (Artacho-Cordón et al., 2013).

O campo elétrico natural encontrado acima da superfície da Terra varia muito com o tempo e a localização. A causa principal deste campo é a separação de carga que ocorre entre a Terra e a

ionosfera e, que atua como um condutor perfeito separado por ar de condutividade desprezável. Este campo perto da superfície e, com bom tempo, apresenta um valor típico de 130 V/m. Este valor, geralmente, depende da altura, temperatura local, humidade e da presença de iões na atmosfera. No entanto, já foram registadas variações de até 200% em condições de nevoeiro ou chuva. As oscilações diárias são atribuídas a fenómenos meteorológicos, como tempestades, que afetam a taxa de transferência de carga entre o solo e a atmosfera superior. Durante uma trovoadas podem ocorrer campos elétricos até 40 kV/m, podendo mesmo atingir os 3 kV/m na ausência de relâmpagos (World Health Organization, 2007).

A principal característica do campo geomagnético é a sua semelhança com um dipolo alinhado aproximadamente com o eixo de rotação da Terra. O dipolo é explicado por correntes elétricas que fluem no núcleo. A componente vertical do campo atinge um máximo de cerca de 70 μT nos pólos magnéticos, e aproxima-se de zero no equador magnético, de modo inverso a componente horizontal está próxima de zero nos pólos e tem um valor máximo aproximado de 30 μT no equador magnético. Alterações do dipolo com períodos da ordem dos 100 anos ou mais constituem a variação temporal, e são explicados por correntes de Foucault localizados perto do limite do núcleo (World Health Organization, 2007). Na latitude média de Portugal o campo geomagnético, atualmente, assume o valor de cerca de 44 μT (Sá, 2011).

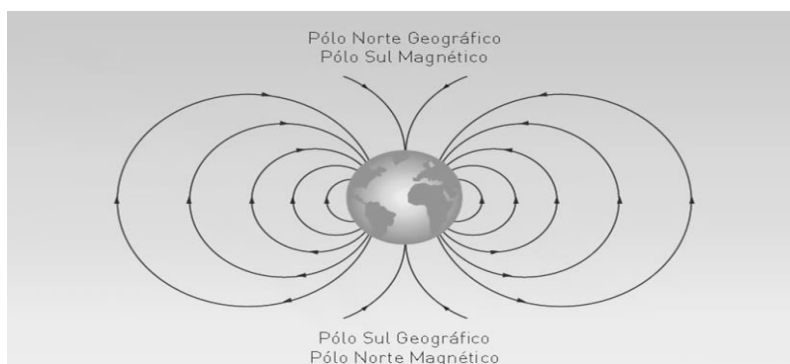


Figura 4 – Campo geomagnético (Paulo Liberato, 2008)

Os CEM naturais não podem ser tratados, no entanto os artificiais podem ser modulados, se necessário, por exemplo, quando estão associados a riscos para a saúde humana. A maioria das fontes artificiais são frequências extremamente baixas (FEB) (Artacho-Cordón et al., 2013).

Transporte de energia

A produção, transporte, distribuição e consumo de energia elétrica à frequência de 50/60 Hz resulta numa ampla exposição dos seres humanos a campos eletromagnéticos de frequências extremamente baixas (CEM-FEB), da ordem de 10-100 V/m e 0,1-1 μT e, ocasionalmente, a valores muito mais elevados (Artacho-Cordón et al., 2013). O transporte de energia em Portugal, pela rede nacional de transporte (RNT), é realizado em tensões de serviço de 400 kV, 220 kV e 150 kV. Esta rede faz a ligação entre os principais centros de produção elétrica, como centrais térmicas, hídricas e eólicas e os centros de consumo, assim como interligações à rede europeia de eletricidade (Paulo Liberato, 2008). Em 2012 a RNT integra 2.333 quilómetros de linhas de 400 kV, 3.521 quilómetros de linhas de 220 kV e 2.680 quilómetros de linhas de 150 kV, num total de 8.534 quilómetros¹.

A tensão da energia transportada na RNT é reduzida para 60 kV em várias subestações distribuídas por todo o país, constituindo o ponto de entrega à rede de distribuição, ou seja, o

¹ Dados técnicos referentes ao ano de 2012 da Rede Elétrica Nacional (REN) obtidos em 15.03.2014 na ligação <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/DadosTecnicos.aspx>

ponto a partir do qual se alimenta a Rede Nacional de Distribuição (RND), que garante a entrega da energia à escala regional ou local e cuja tensão é geralmente igual ou inferior a 60 kV (Paulo Liberato, 2008). A entrega ao consumidor final é realizada em baixa tensão com valores típicos de 230 V, medida entre fase e neutro, e 400 V, medida entre fases². O diagrama da estrutura de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica é representado na figura 5.

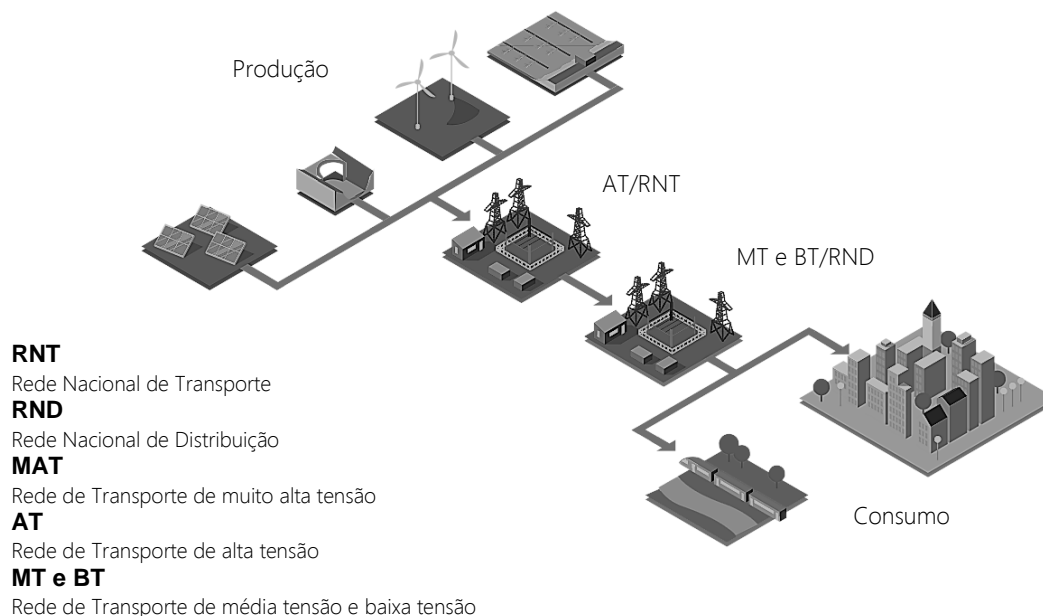


Figura 5 – Produção, transporte e distribuição de energia elétrica (Paulo Liberato, 2008)

O **campo elétrico** num ponto próximo de uma linha de energia depende da sua tensão, da sua distância, da configuração e do raio dos condutores. Outro fator a considerar é a secção dos condutores, secções maiores resultam em campos elétricos ao nível do condutor de valor inferior. Adicionalmente, deve ser considerado o facto dos campos elétricos serem afetados pelos objetos condutores que possam existir na área envolvente (World Health Organization, 2007).

Os campos elétricos são mais baixos e reduzem-se mais rapidamente com a distância para sistemas de pontos simétricos. Os campos elétricos são mais baixos quando as três fases estão equilibradas, aumentando quando estão em desequilíbrio. Ao nível do solo, o campo elétrico é mais elevado no meio de um vão devido à maior proximidade dos condutores ao solo do que na aproximação aos apoios. O valor máximo de campo elétrico gerado pelas linhas aéreas ao nível do solo é aproximadamente de 10 kV/m (World Health Organization, 2007).

A tabela 2 e figura 6 mostram a variação do valor do campo eléctrico com a distância ao eixo central de uma linha aérea com dois circuitos. Os dados apresentados referem-se a uma linha de transmissão da rede nacional do Reino Unido onde as tensões de serviço são 400 kV, 275 kV e 132 kV. Verifica-se que o valor máximo registado para o campo elétrico corresponde à linha de transmissão em 400 kV, com o valor de 11 kV/m, à distância do eixo da linha de aproximadamente 7,6 m. Se for analisado o valor para um deslocamento lateral de 25 metros do eixo da linha, obtém-se um valor para o campo elétrico muito inferior, de aproximadamente 1 kV/m (NRPB, 2001).

² Dados técnicos referentes à rede de distribuição de energia elétrica da EDP distribuição obtidos em 22.03.2014 na ligação <http://www.edp.pt/pt/fornecedores/seguranca/rededistribuiacao>

Tabela 2 – Variação do campo elétrico com a distância da linha aérea (NRPB, 2001)

| Localização | Tensão na linha de transmissão (kV) | | |
|--|-------------------------------------|-----|------|
| | 400 | 275 | 132 |
| Campo elétrico (kV/m) | | | |
| Ponto da linha aérea mais próximo do solo | 11 | 6 | 2 |
| Deslocamento lateral de 25 m do eixo central | 1 | 0,2 | 0,05 |

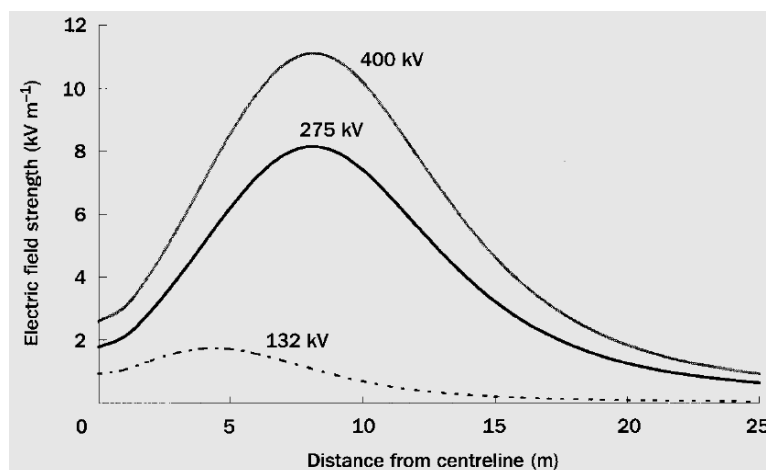


Figura 6 – Campo elétrico numa linha aérea de transmissão (NRPB, 2001)

O campo elétrico produzido por uma fonte fora das habitações será atenuado consideravelmente pela estrutura da casa. Todos os materiais de construção comuns criam uma barreira aos campos elétricos, originando uma atenuação de aproximadamente de 10 vezes, ou mais, em comparação com o campo elétrico exterior (World Health Organization, 2007).

O **campo magnético** produzido por uma linha de transmissão de energia elétrica depende de vários fatores (World Health Organization, 2007):

- Do número de condutores que integram a linha, geralmente três correntes para uma linha com um único circuito e, seis correntes para uma linha de dois circuitos;
- Do arranjo espacial das correntes: onde deve ser considerada a distância entre fases e a sua posição relativa. A separação das correntes é, geralmente, determinada pela necessidade de evitar o arco elétrico entre condutores adjacentes, e que inclui uma margem de segurança para o deslocamento dos condutores causados pelo vento. Esta distância, normalmente, cresce com o aumento da tensão da linha. A posição relativa das fases dos vários circuitos reforça ou atenua o campo magnético. Supondo que as três fases de um circuito são ordenadas no a-b-c, ordem de cima para baixo. Se o segundo circuito é ordenado de forma semelhante a-b-c, os dois circuitos produzem campos magnéticos que estão alinhados entre si e reforçam-se mutuamente. Se por outro lado, o segundo circuito estiver com uma organização oposta, c-b-a, o seu campo magnéticos apresentará uma direção oposta ao primeiro circuito e anulam-se quase por completo. O CM reduz-se numa relação cúbica da distância. Outras ordenações das fases são possíveis, originando, geralmente, CM mais elevados ao nível do solo.
- Das correntes transportadas pela linha de transmissão, que considera a corrente de carga e o desequilíbrio de corrente;
- Das correntes transportadas pelo condutor terra ou pelo próprio solo;
- Da altura das correntes acima do solo: a distância mínima permitida para uma determinada linha de tensão geralmente é determinada pela necessidade de evitar arco elétrico com objetos à altura do solo.

As linhas de transmissão com tensão mais elevadas transportam, normalmente, correntes mais elevadas e apresentam uma maior distância entre os condutores. Neste sentido, produzem campos magnéticos elevados, apesar do campo magnético não depender da tensão (World Health Organization, 2007).

A corrente elétrica nas linhas de transmissão varia ao longo do dia, sazonalmente, e de ano para ano de acordo com a solicitação de eletricidade, afetando diretamente o valor campo magnético. Geralmente, operam com menos carga do que aquela para a qual foram projetadas assim, os campos magnéticos médios são geralmente menores do que os valores teóricos máximos que uma linha é capaz de produzir (World Health Organization, 2007).

Na sequência do exemplo apresentado para o campo elétrico, a tabela 3 e a figura 7 demonstram a variação da densidade de fluxo magnético com a distância às linhas de transmissão de uma linha aérea do Reino Unido, com dois circuitos, na época do inverno. As correntes transportadas por circuito são de 2 kA para as linhas de 400 kV, de 1 kA para linhas de 275 kV e, de 0,35 kA para as linhas de 132 kV. Em contraste com os campos elétricos, onde a exposição é, normalmente, superior perto de linhas de transmissão de alta tensão, as maiores densidades de fluxo magnético são registadas na proximidade dos elementos que transportam correntes elevadas. O valor teórico, para o caso mais desfavorável, da densidade de fluxo magnético por baixo de uma linha de transmissão no Reino Unido é de 100 μT (NRPB, 2001).

Tabela 3 – Variação da densidade de fluxo magnético numa linha aérea (NRPB, 2001)

| Localização | Tensão na linha de transmissão (kV) | | |
|--|--|-----|-----|
| | 400 | 275 | 132 |
| | Densidade de fluxo magnético (μT) | | |
| Ponto no solo debaixo da linha aérea | 40 | 22 | 7 |
| Deslocamento lateral de 25 m do eixo central | 8 | 4 | 0,5 |

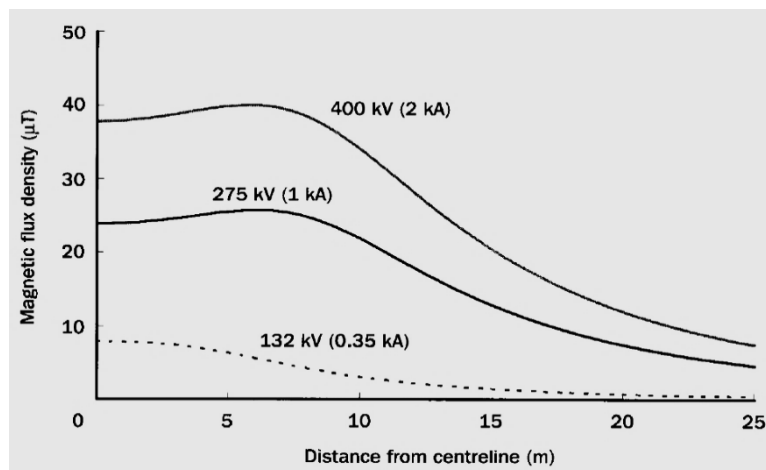


Figura 7 – Densidade de fluxo magnético numa linha aérea de transmissão (NRPB, 2001)

Cabos subterrâneos

A grande maioria das linhas de transporte de eletricidade em Portugal é aérea. No entanto, por razões de ordenamento territorial em zonas urbanas consolidadas, pode recorrer-se à instalação de **cabos subterrâneos** (Paulo Liberato, 2008). Os cabos enterrados não produzem **campos elétricos** acima do solo, por um lado devido ao efeito de blindagem da própria terra, por outro, porque os cabos subterrâneos, usualmente, incluem uma bainha de metal que cria uma blindagem total do campo elétrico (World Health Organization, 2007).

Um cabo subterrâneo continua a produzir **campos magnéticos** ao nível do solo. Os condutores neste tipo de transmissão de energia são isolados individualmente e estão mais próximos do solo do que numa linha aérea. Este facto tende a reduzir o campo magnético produzido. Em Portugal os cabos subterrâneos com tensões inferiores a 40 kV deverão ser enterrados a uma distância mínima de 1 metro quando montados sob faixas de rodagem e a uma distância não inferior 0,7 metros em todos os outros locais. Para tensões superiores a 40 kV, os mesmos cabos deverão ser enterrados a uma distância mínima de 1,2 metros quando montados sob faixas de rodagem e a uma distância não inferior a 1 metro nos restantes locais³. Numa análise pormenorizada, resulta que os valores da densidade de fluxo ao lado do eixo central da linha subterrânea são, geralmente, inferiores quando comparados com os valores ao lado do eixo central de uma linha aérea equivalente, contudo para medições sobre o eixo central da linha subterrânea os valores da densidade de fluxo são superior aos obtidos por baixo da linha aérea (World Health Organization, 2007). A representação gráfica desta comparação é apresentada na figura 8 referente a uma linha aérea e subterrânea de tensão nominal de 400 kV do Reino Unido.

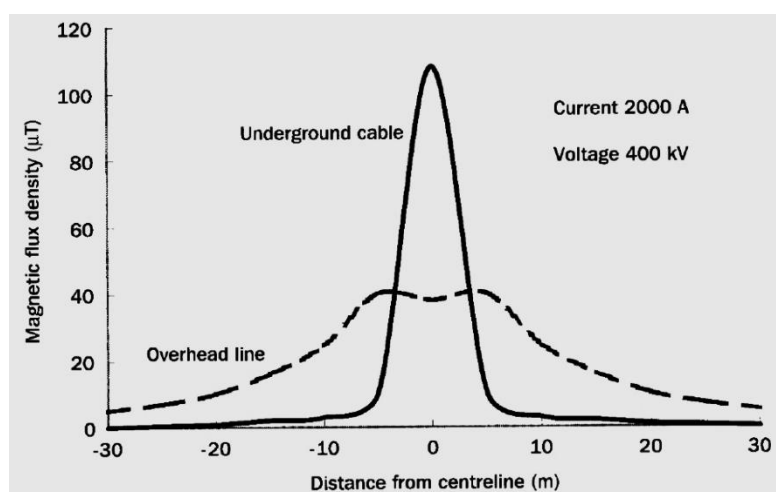


Figura 8 – Densidade de fluxo magnético numa linha aérea e subterrânea (NRPB, 2001)

A profundidade a que o cabo elétrico é enterrado está naturalmente relacionada com o valor da densidade de fluxo magnético. Esta relação está evidenciada na figura 9, para medições realizadas a 0,5 m acima do nível do solo, numa linha com $I = 530$ A, onde se assinala uma diminuição da densidade de fluxo magnético à medida que a profundidade a que o cabo está enterrado aumenta. Essa diminuição só é significativa exatamente sobre o cabo, sendo menos acentuada a partir de, sensivelmente, 2,5 m de distância lateral (Sá, 2011).

O gráfico ilustrado na figura 10 compara os resultados com o cabo enterrado a 0,7 m, representado através de uma linha a cheio, e o cabo enterrado a 1,4 m, exibido por uma linha a tracejado. Para a profundidade de 1,4 m, o campo magnético médio é inferior a $1 \mu\text{T}$ medido a partir de 3 m de distância ao cabo (Sá, 2011).

Subestações

As subestações da rede de transporte são instalações sem acesso ao público em geral. Na vizinhança imediata dos transformadores, a intensidade do campo magnético pode ser considerável. Porém, estes equipamentos têm uma localização central às instalações e encontram-se afastados de algumas dezenas de metros dos limites da instalação, reduzindo o campo magnético nesta zona a valores residuais (Paulo Liberato, 2008).

³ Decreto Regulamentar 1/92 de 18 de fevereiro que aprova o regulamento de segurança de linhas elétricas de alta tensão. Acesso em 28.03.2014 na ligação <http://dre.pt/pdf1sdip/1992/02/041B00/09600984.pdf>

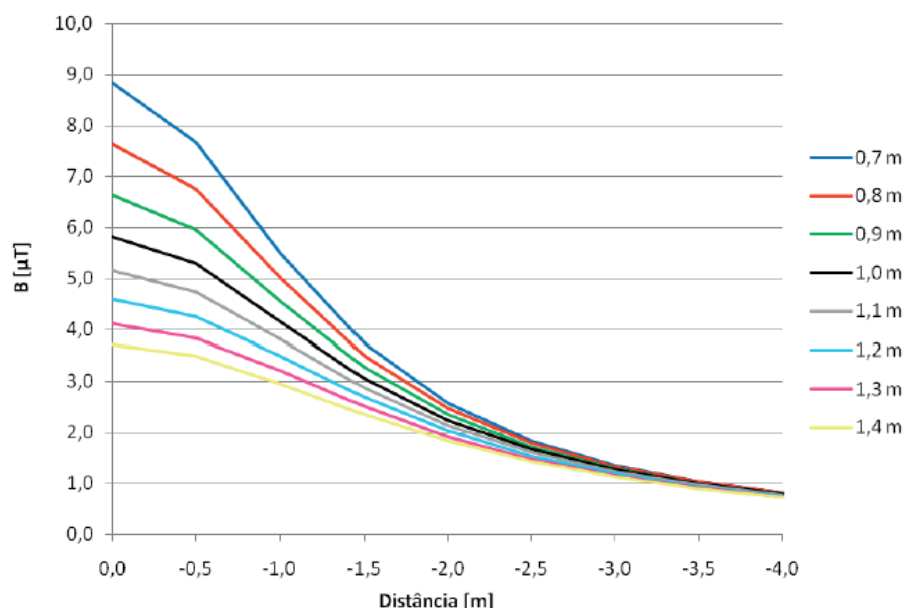


Figura 9 – Variação de B com a profundidade do cabo subterrânea (Paulo Liberato, 2008)

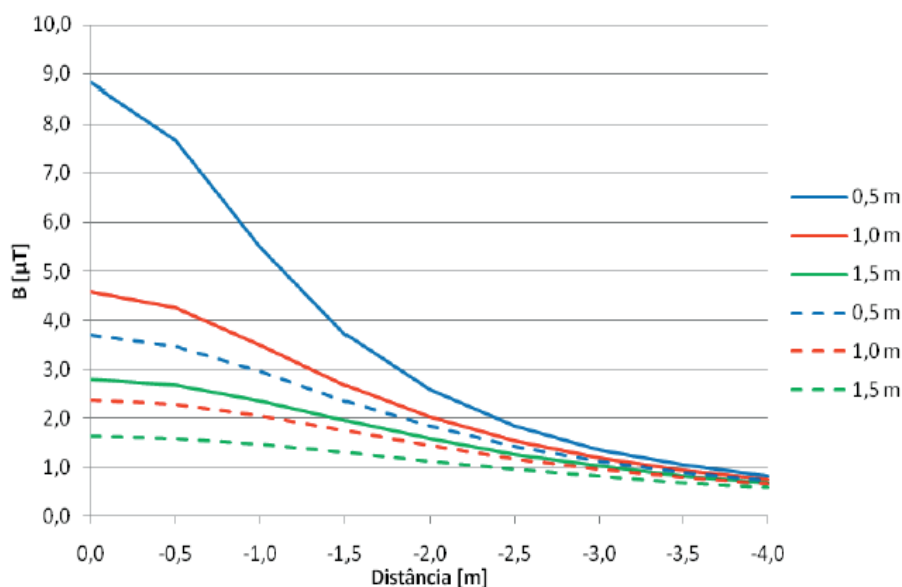


Figura 10 – Variação de B com a altura de medição ao solo (Paulo Liberato, 2008)

Equipamentos de utilização quotidiana

Os equipamentos elétricos de utilização no quotidiano produzem campos eletromagnéticos que envolvem o utilizador e as pessoas na sua proximidade, exemplo disso é a utilização de um secador de cabelo ou o facto de estar a ver televisão (Yalç & Erdem, 2012).

Os circuitos elétricos cujo campo magnético é proporcional à corrente que neles circula, reduz o seu valor na proporção do quadrado da distância aos condutores. Existem ainda, em particular, os circuitos de cabos entrançados, cuja estrutura reduz consideravelmente o campo magnético (Paulo Liberato, 2008).

Todos os equipamentos elétricos domésticos constituem fontes localizadas de campos magnéticos, que dependem da tecnologia do aparelho e geralmente não são proporcionais à

energia consumida. Este tipo de campos magnéticos diminui com o cubo da distância à fonte, pelo que se tornam praticamente inexistentes a distâncias superiores a dois metros (Paulo Liberato, 2008).

A tabela 4 apresenta valores característicos para a grandeza intensidade de campo elétrico (E) e densidade de fluxo magnético (B) para alguns equipamentos de utilização diária.

Tabela 4 – Valores de E e B para equipamentos de utilização diária (Paulo Liberato, 2008)

| Localização | E (V/m) | B (μ T) |
|-----------------|----------------|--------------|
| Frigorífico | 90 | 0,3 |
| Televisão | 60 | 2 |
| Torradeira | 40 | 0,8 |
| Computador | Valor residual | 1,4 |
| Máquina barbear | Valor residual | 500 |

Valores limite de exposição para a população: E= 5 kV/m; B = 100 μ T⁴

Transportes

Os sistemas de transporte criam um conjunto de problemas ambientais devido à emissão de gases nocivos para a atmosfera. No século XXI, os habitantes dos países desenvolvidos e em desenvolvimento estão a consumir mais energia aumentando assim o nível de emissões de CO₂. Neste sentido, é fundamental limitar o consumo de energia ao mesmo tempo que a indústria dos transportes se desenvolve. As tecnologias elétricas e híbridas foram introduzidas para reduzir a emissão de gases nocivos. A maioria dos elétricos, metros, comboios e carros híbridos são, neste momento, alimentados através de energia elétrica, o que reduz, numa análise global, a quantidade de emissões de CO₂ e, por conseguinte, a poluição do meio ambiente. Devido à utilização deste tipo de energia a questão centra-se agora nos campos eletromagnéticos gerados e aos quais os utilizadores destes meios de transporte estão sujeitos (Halgamuge, Abeyrathne, & Mendis, 2010).

Os campos magnéticos que constituem os sistemas ferroviários eletrificados variam de forma considerável, devido à grande variedade de configurações possíveis de fornecimento de energia e tração. Muitos dos sistemas ferroviários convencionais usam motores de tração CC e fontes de alimentação CA com frequências de 16,7 Hz ou 50 Hz na Europa e 25 Hz ou 60 Hz na América do Norte. Estes sistemas dependem em muitos casos de retificação da tensão o que origina campos magnéticos estáticos ou quase-estáticos significativos nos componentes de tração. As principais fontes destes campos são os filtros de linha com componentes indutores e não os próprios motores, que são projetados para minimizar a fuga de fluxo magnético. Quando a alimentação é feita em CC são utilizados conversores CC-CC que convertem a tensão CC fixa de entrada em tensão CC variável na saída. Recentemente, os motores CA tornaram-se mais comuns devido ao avanço tecnológico dos semicondutores de potência (World Health Organization, 2007).

A figura 11 representa o sistema de alimentação de uma locomotiva de tração elétrica. Na tabela 5 são apresentados valores de campos magnéticos do sistema ferroviário do Reino Unido.

Em Portugal a CP – Comboios de Portugal, EPE, entidade pública empresarial, detida a 100% pelo Estado Português, é a empresa responsável pela prestação de serviços de transporte ferroviário nacional e internacional de passageiros. Dos 350 comboios, locomotivas e automotoras que integram a sua frota, 72,5% são comboios de tração elétrica⁵.

⁴ Quadro II – Níveis dos campos da Portaria 1421/2004 de 23 de Novembro que adota as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população a campos eletromagnéticos. Acesso em 05.04.2014 na ligação <http://dre.pt/pdf1sdip/2004/11/275B00/68346838.pdf>

⁵ Dados referentes à CP – Comboios de Portugal, EPE obtidos em 05.04.2014 na ligação <http://www.cp.pt/>

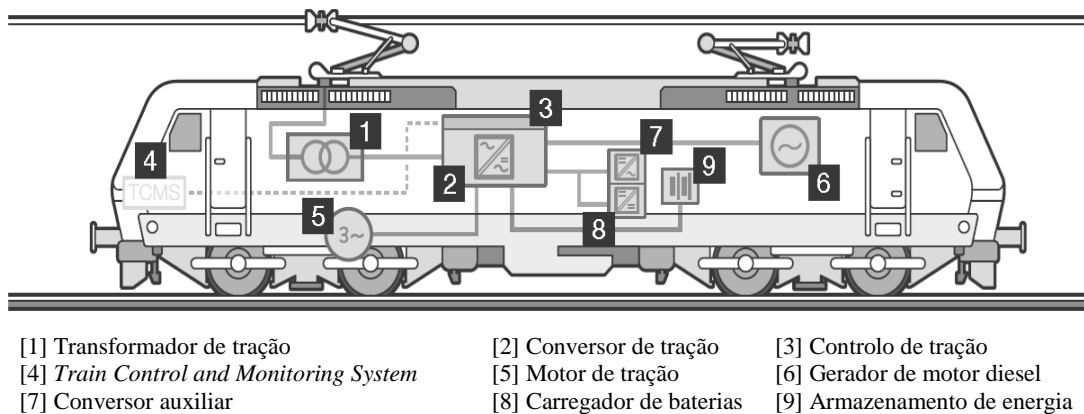
Figura 11 – Sistema de alimentação de uma locomotiva de tração elétrica CA⁶

Tabela 5 – Campos magnéticos no sistema ferroviário (World Health Organization, 2007)

| Sistema e Fonte | B | f | Informação complementar |
|---|-----------------|--------|---|
| Metro de Londres | Até 20 μ T | 100 Hz | Registado na cabine do maquinista resultante dos componentes de tração dos filtros de linha |
| Automotoras de serviço suburbano com alimentação a 750 V CC | Até 20 μ T | 100 Hz | Ao nível do chão |
| | 16 – 64 μ T | 100 Hz | No interior da automotora ao nível à altura da mesa |
| | 16 – 48 μ T | 100 Hz | Na plataforma da estação |
| <i>Mainline trains</i> – Automotoras elétricas | Até 20 μ T | 100 Hz | Ao nível do chão em cima dos sistemas indutores |
| <i>Mainline trains</i> – Locomotivas | Até 2.5 mT | 100 Hz | Medido a 0,5 m do chão no vagão de equipamento |
| | 5 – 50 μ T | 50 Hz | Nas carruagens de passageiros |

Os veículos híbridos elétricos (VHE) produzem menos emissões de dióxido de carbono e têm uma melhor economia de combustível quando comparados com os veículos convencionais com motor de combustão interna. O *Toyota Prius* foi o primeiro VHE comercial lançado no Japão em 1997. Estes veículos possuem um motor elétrico e um motor de combustão interna colocados na parte da frente do carro conforme mostra a figura 12. Uma ou ambas as fontes de energia são utilizadas para maximizar a eficiência de combustível dependendo das condições de condução. A energia cinética é convertida em energia elétrica pelo sistema de acionamento. Esta energia é elevada em marcha lenta ou em travagem. A energia elétrica é armazenada em baterias com diferença de potencial de 273,6 V, que são instalados num compartimento sob o assento traseiro. O motor elétrico e a bateria estão ligados através de um cabo elétrico visível na figura 12. Esta energia é utilizada pelo motor elétrico para acionar veículo. O inversor controla a energia elétrica, convertendo e regulando a corrente elétrica entre o motor e a bateria. Os campos magnéticos são produzidos pela corrente elétrica que flui através do motor, do cabo e da bateria durante a condução (Halgamuge et al., 2010).

A tabela 6 apresenta os valores médios, máximos e mínimos, da densidade de campo magnético medidos num VHE em várias localizações. Os valores apresentados encontram-se na unidade gauss (G). A respetiva conversão é dada por:

$$1 \text{ gauss (G)} = 10^{-4} \text{ tesla (T)} \quad (\text{Equação 6})$$

⁶ Informação técnica do sistema de tração obtida em 05.04.2014 na ligação <http://www.abb.com/railway>

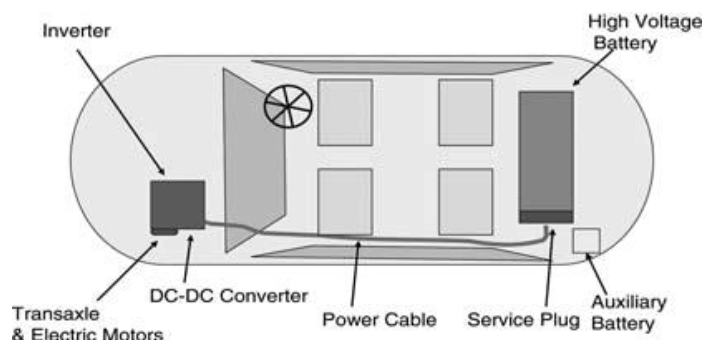


Figura 12 – Sistema de alimentação de um veículo híbrido elétrico (Halgamuge et al., 2010)

Tabela 6 – Campo magnético num veículo híbrido elétrico (Halgamuge et al., 2010)

| Localização | B mínimo (G) | B máximo (G) |
|-------------------------|--------------|--------------|
| Piso traseiro esquerdo | 2 | 35 |
| Banco traseiro esquerdo | 0,9 | 13,2 |
| Piso traseiro direito | 0,9 | 14,3 |
| Banco traseiro direito | 1,5 | 8,4 |
| Cabeça do condutor | 0,3 | 5,6 |
| Piso frente esquerda | 1,5 | 7,5 |
| Banco frente esquerdo | 1,0 | 23,9 |
| Piso frente direito | 0,5 | 13,1 |
| Banco frente direito | 0,5 | 17,9 |

Soldadura por arco elétrico

A soldadura e os trabalhos realizados perto de linhas de alta tensão têm sido associados a exposições elevadas a campos magnéticos de frequência extremamente baixa, apresentando os trabalhos de soldadura a ocupação com maior exposição média num período de trabalho (Dominici, Villarini, Fatigoni, Monarca, & Moretti, 2011). Os possíveis efeitos adversos dos campos eletromagnéticos gerados nos processos de soldadura são de grande importância, uma vez que estão envolvidas correntes elétricas bastantes elevadas, que podem atingir várias centenas ampere (Yamaguchi-Sekino et al., 2011).

As propriedades do CEM criado dependem do processo de soldadura: soldadura SER (*shielded arc welding*), soldadura TIG (*tungsten inert gas*), soldadura MIG (*metal inert gas*), soldadura, MAG (*metal active gas*), e da fonte de alimentação: corrente contínua, corrente alternada sinusoidal, onda quadrada, etc. Tipicamente, os processos de soldadura apresentam frequências inferiores a 1 kHz, embora, por vezes, possam existir altas frequências, da ordem de vários kHz e MHz devido às correntes de ondulação (*ripple currents*) geradas pelas fontes de alimentação (Yamaguchi-Sekino et al., 2011).

A figura 13 (Soldadura TIG com corrente de $200A_{rms}$, 50Hz, pos/neg sinusoidal, 33% *duty-cycle*), figura 14 (Soldadura TIG com corrente de $200A_{rms}$, 50Hz, pos/neg quadrada 33% *duty-cycle*), e figura 15 (Soldadura MAG com corrente de $240A_{rms}$, 234 Hz de frequência de impulso), representam as formas de onda e espectro para diferentes tipos de alimentação. A figura 16 (Retificador trifásico) e figura 17 (Inversor) reproduzem o efeito da corrente de ondulação.

Na soldadura por arco, as partes metálicas são fundidas com a energia de um arco elétrico atingido entre dois elétrodos ou entre um elétrodo e o metal a ser soldado. A corrente produzida apresenta a frequência da fonte de alimentação, contudo podem surgir frequências mais elevadas

no arranque ou para manter o arco. Uma característica deste processo de soldadura é que o cabo de alimentação, que pode transportar correntes de centenas de amperes, pode tocar no corpo do soldador. Podem ser medidas densidades de fluxo magnético da ordem dos 1 mT à superfície do cabo de soldadura e da ordem dos 100 μT perto da fonte de alimentação (World Health Organization, 2007).

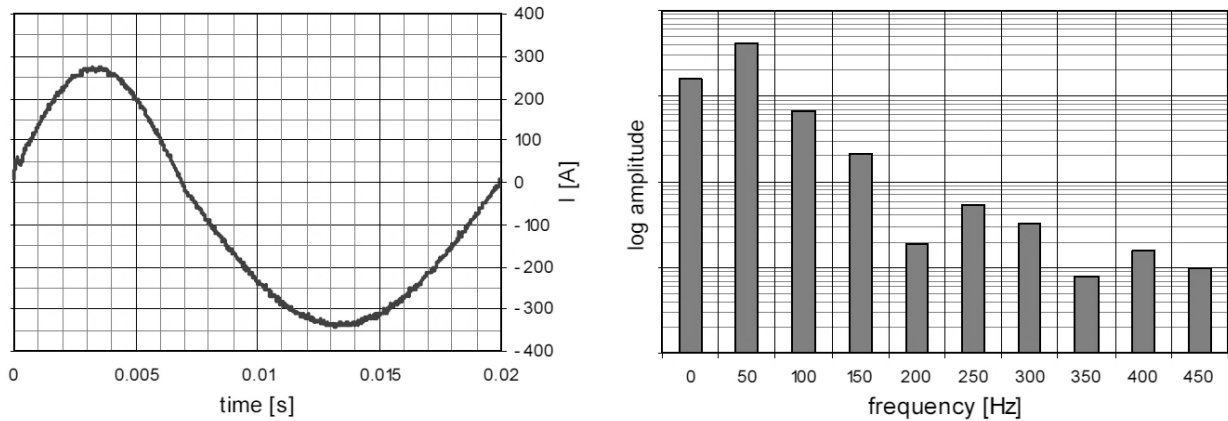


Figura 13 – Soldadura TIG, 50 Hz, sinusoidal, 33% duty-cycle (Mair P., 2005)

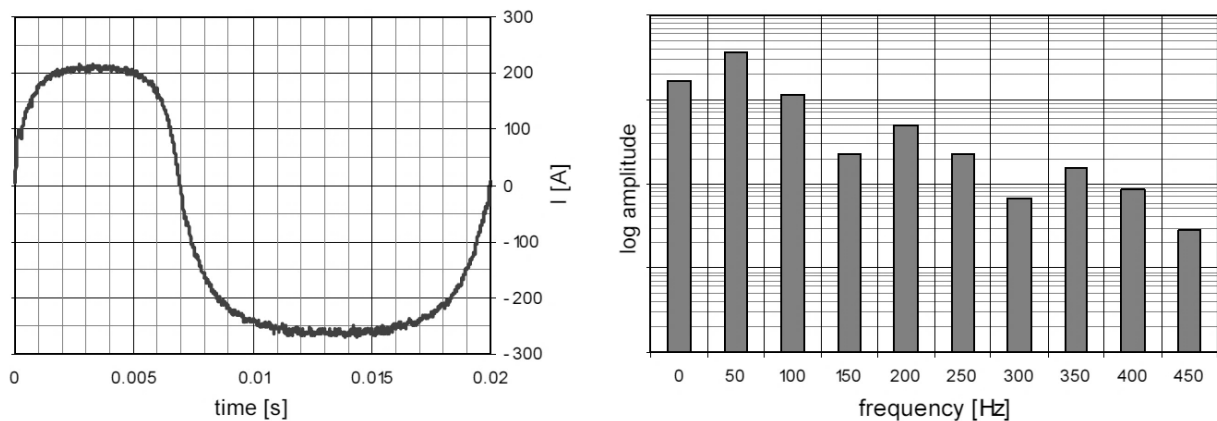


Figura 14 – Soldadura TIG, 50 Hz, quadrada, 33% duty-cycle (Mair P., 2005)

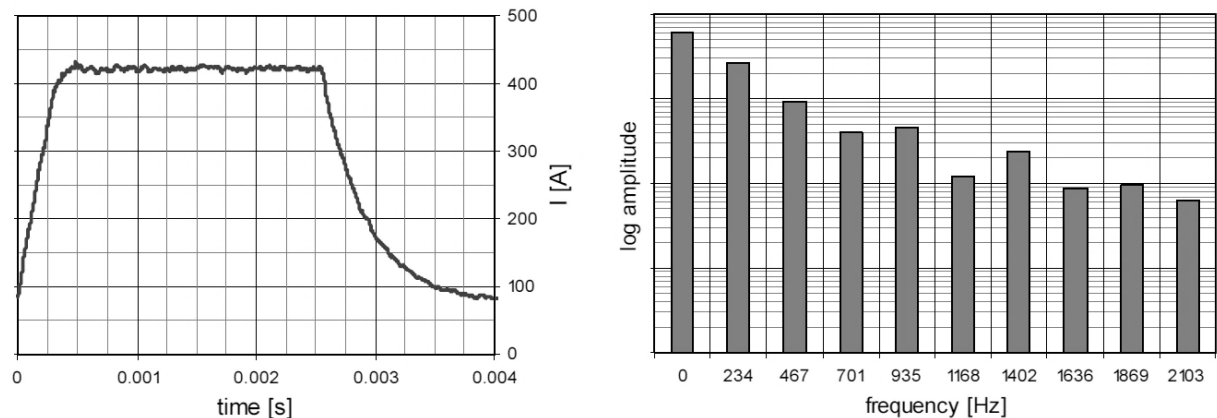


Figura 15 – Soldadura MAG, 234 Hz frequência impulso (Mair P., 2005)

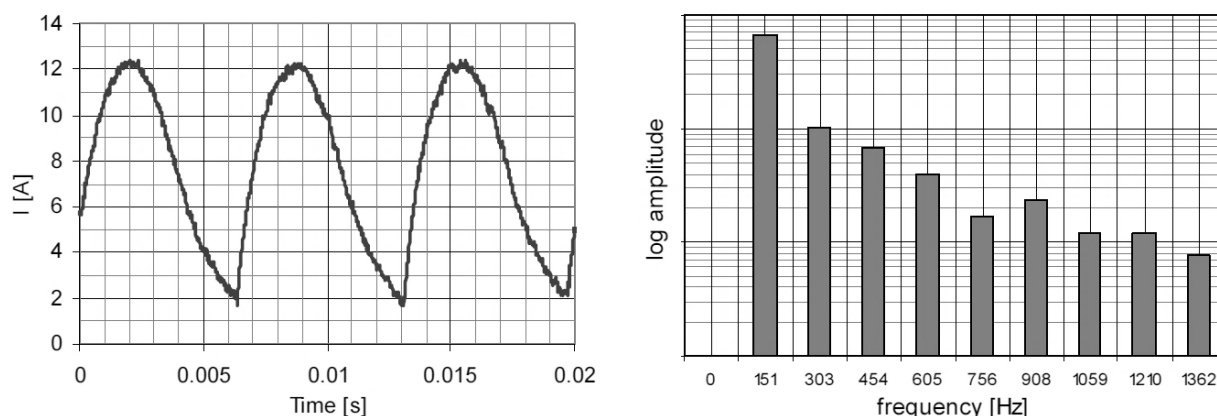


Figura 16 – Corrente de ondulação num retificador trifásico (Mair P., 2005)

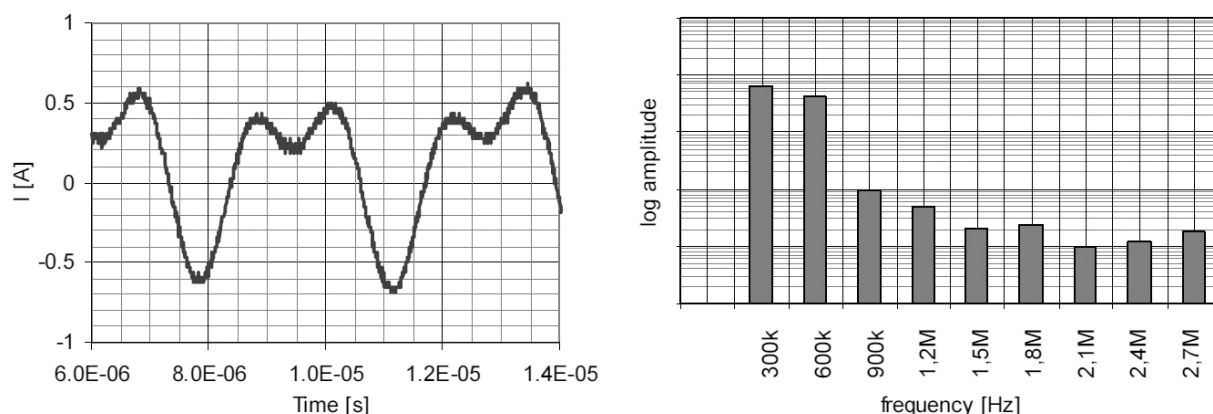


Figura 17 – Corrente de ondulação num inversor (Mair P., 2005)

Stuchly & Lecuyer (1989)⁷ pesquisaram a exposição dos soldadores a campos magnéticos e determinaram a exposição a 10 cm cabeça, peito, cintura, gónadas, mãos e pernas. Embora seja possível ao nível das mãos obter exposição a campos de 1 mT, o tronco é tipicamente exposto a várias centenas de microtesla. Após o estabelecimento do arco de soldadura, as tensões são relativamente reduzidas, originando baixos campos elétricos, da ordem de algumas dezenas de Volt por metro (NRPB, 2001).

Outras fontes ocupacionais

A exposição a campos eletromagnéticos varia bastante em todas as profissões. A utilização de dosímetros pessoais tem permitido efetuar medições de exposição para determinados tipos de trabalhos (World Health Organization, 2007).

Floderus *et al.* (1993)⁸ investigaram conjuntos de medições feitas em 1015 locais de trabalho diferentes. Este estudo incluiu 169 categorias de trabalho diferentes e, os participantes usavam dosímetros com uma duração média de 6,8 h. A medida mais comum foi de 0,05 μ T, sendo que medições acima de 1 μ T foram diminutas (World Health Organization, 2007).

⁷ Stuchly MA, Lecuyer DW (1989). Exposure to electromagnetic fields in arc welding. *Health Phys*, 56:297-302.

⁸ Floderus B *et al.* (1993). Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control*, 4(5):465-476.

A tabela 7 apresenta medições realizadas pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) em vários tipos de indústrias (NIEHS, 2002):

Tabela 7 – Densidade de fluxo magnético em diferentes tipos de indústria (NIEHS, 2002)

| Indústria | Fonte | B (μ T) | Comentários | Outras frequências |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|---|------------------------|
| Fabricação de máquinas | Resistência de aquecimento | 600 - 1400 | | VLF |
| | Aquecimento por indução | 1 - 46 | | High VLF |
| | Rebarbadora | 300 | Medição ao nível do peito do operador | |
| | Torno, máquina de furar | 0,1 - 0,4 | Medição ao nível do peito do operador | |
| Refinação de alumínio | Sala de reservatórios de alumínio | 0,34 - 3 | Corrente CC elevada com ELF <i>ripple currents</i> | Very high SF |
| | Sala de retificação | 30 - 330 | | High SF |
| Fundição de aço | Alto-forno com fornalha ativada | 17 - 130 | ELF de valor elevado na cadeira do operador de controle | ULF (agitador) |
| | Alto-forno com fornalha desativada | 0,06 - 0,37 | ELF de valor elevado na cadeira do operador de controle | ULF (agitador) |
| | Unidade de eletro galvanização | 0,2 - 110 | | High VLF |
| Estação de televisão | Câmaras de vídeo | 0,72 - 2,4 | | VLF |
| | Desmagnetização de cassetes de gravação | 16 - 330 | Medição a 30 cm | |
| | Centro de controle de iluminação | 0,1 - 30 | | |
| | Estúdios e redações | 0,2 - 0,5 | | |
| Hospitais | Unidade de cuidados intensivos | 0,01 - 22 | Medição ao nível do peito | VLF |
| | Unidade de cuidados pós-anestésicos | 0,01 - 2,4 | | VLF |
| | Ressonância magnética | 0,05 - 28 | Medição nos locais de trabalho dos técnicos | Very high SF, VLF e RF |
| Escritórios do governo | Secretárias | 0,01 - 0,7 | Picos devido às impressoras laser | |
| | Secretárias próximas quadros elétricos | 1,8 - 5 | | |
| | Cabos elétricos no chão | 1,5 - 1,7 | | |
| | Posto de transformação | 2,5 - 180 | | |
| | Ventoinha de secretária | 100 | Medição a 15 cm | |
| | Outros equipamentos de escritório | 1 - 20 | | |
| ULF (Ultra Low frequency) | | Intervalo de frequências: 0-3 Hz | | |
| ELF (Extremely low frequency) | | Intervalo de frequências: 3-3000 Hz | | |
| VLF (Very low frequency) | | Intervalo de frequências: 3-30 kHz | | |

2.1.4 Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos

As radiações não ionizantes podem ser subdivididas em CEM de frequências extremamente baixas (CEM-FEB: 0-100 kHz) e CEM de radiofrequência (CEM-RF: 100 kHz – 300 GHz). Os CEM-FEB representam uma parte importante da exposição aos CEM (Teepen & van Dijk, 2012). Desde meados do século XX que a eletricidade tem sido uma parte essencial do nosso cotidiano. Nos últimos anos, tem havido a preocupação que a exposição a CEM-FEB, produzidos pela produção, transporte, distribuição e utilização de energia elétrica pode causar ou contribuir para vários tipos de efeitos adversos à saúde (Tesneli, 2013).

Os CM-FEB foram estudadas como um fator de risco para leucemia infantil desde o final da década de 1970. A associação entre leucemia infantil e CM-FEB residenciais foi identificada

pela primeira vez por Wertheimer e Leeper⁹. Vários estudos epidemiológicos e avaliações de risco levaram a *International Agency for Research on Cancer* (IARC) a classificar os CM-FEB como possivelmente cancerígeno para os humanos - grupo 2B (Tesneli, 2013).

Os CEM estão presentes na própria fisiologia natural do corpo humano. Todos os condutores elétricos, incluindo o corpo humano, têm campos de ruído elétrico devido ao movimento aleatório das cargas elétricas. Para uma célula longa, por exemplo um nervo ou uma fibra muscular, com 1 mm de comprimento e um diâmetro de 25 μm , a tensão associada ao ruído elétrico é da ordem de 100 mV/m. Com efeito, para campos variáveis de frequência extremamente baixa o citoplasma das células comporta-se como um condutor quase perfeito e encontra-se todo ao mesmo potencial, sendo a fina, mas isolante, membrana exterior que suporta toda a tensão elétrica (Sá, 2011).

Nos neurónios o papel dos neurotransmissores reforça muito o carácter elétrico dessas células. Estudos experimentais recentes mostram que para muitos neurónios o limiar de tensão estimulante é da ordem de 10 a 15 mV acima da tensão de repouso. Muitos cientistas consideram improvável que campos elétricos muito inferiores a esses níveis de ruído possam afectar sistemas biológicos (Sá, 2011). A figura 18 representa o campo elétrico e linhas equipotenciais nas células, onde se pode visualizar que nas células longas (músculos estriados dos membros e respetivos nervos, espinal medula, entre outros) a tensão transmembranar pode ser relativamente elevada.

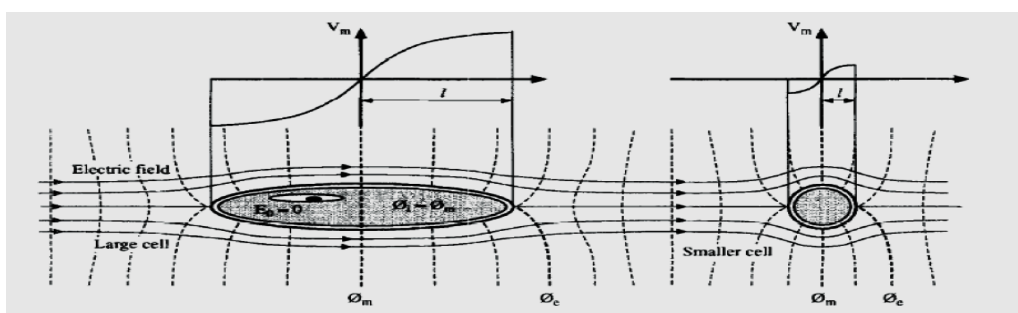


Figura 18 – Campo elétrico e linhas equipotenciais nas células (Sá, 2011)

Os efeitos dos campos eletromagnéticos sobre a saúde podem assumir um perfil terapêutico ou potencialmente prejudicial. Ao nível terapêutico poder-se-á elencar (Kostoff & Lau, 2013):

- Modulação da produção de quimiocinas e do crescimento de queratinócitos, através da inibição do *NF-kappa B signaling pathway*, podendo inibir, assim, os processos inflamatórios. Os CEM-FEB podem representar uma abordagem terapêutica adicional no tratamento de lesões da pele.
- Aumento dos efeitos de apoptose¹⁰ nas células com baixas doses de radioterapia (irradiação de raios X) em células do fígado de uma forma sinérgica e cumulativa.

No que concerne a potenciais efeitos prejudiciais tome-se como exemplo (Kostoff & Lau, 2013):

- Segundo Gobba *et al.* (2009)¹¹ os CM-FEB são potencialmente cancerígenos para os seres humanos e alguns dados sugerem que podem atuar como promotores ou progressores.

⁹ Wertheimer, N. and Leeper, E. *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. *Am. J. Epidemiol.* 109, 273–284 (1979).

¹⁰ Forma de morte celular, também denominada como morte celular programada, onde um programa de "suicídio" é ativado dentro da célula, levando a fragmentação do ADN, retração do citoplasma, alterações nas membranas e à morte celular sem danificar as células vizinhas. É um fenómeno normal que ocorre com frequência no organismo multicelular. Definição obtida em 25.04.2014 na ligação: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26873/>

¹¹ F. Gobba, A. Bargellini, M. Scaringi, G. Bravo, P. Borella, *Extremely low frequency-magnetic fields (ELF-EMF) occupational exposure and natural killer activity in peripheral blood lymphocytes*, (2009) 1218–1223.

- Investigadores da *Kaiser-Permanente* utilizaram instrumentos de medição de campos magnéticos em seres humanos para acompanhar a variação da exposição ao longo do tempo. As principais conclusões foram:
 - A exposição pré-natal a CM acima de um determinado nível, possivelmente em torno de 16 mG, pode estar associado ao risco de aborto;
 - *Li et al.* (2010)¹² no seu estudo fornecem evidências que a exposição a CM pode ter um efeito adverso na qualidade dos espermatozoides;
 - O aumento de 1 mG do CM durante a gravidez foi associado a um aumento de 15% de risco de asma nos filhos.

O debate científico é pluridisciplinar, visto incluir aspetos da física e da biologia. Os tecidos vivos são condutores de eletricidade e, por conseguinte, estão sujeitos aos fenómenos de indução. A investigação envolve então duas vertentes fundamentais, por um lado, a epidemiológica, onde o princípio é identificar correlações entre a exposição aos CEM e a aparição das patologias por meio da recolha de dados, por outro, a experimentação biológica no modelo animal (estudo *in vivo*) ou em culturas de células (estudo *in vitro*), com o objetivo de tentar observar o efeito e, caso este realmente seja observável, explicar o mecanismo pelo qual tal fenómeno ocorre (Paulo Liberato, 2008).

Tendo inicialmente a questão sido levantada por um estudo epidemiológico, é lógico que outros estudos do género tenham sido realizados (Paulo Liberato, 2008). De acordo com os critérios *Bradford Hill* de 1965¹³, largamente aceites pela comunidade médica, um estudo epidemiológico só pode indicar uma relação e não, em geral, uma causalidade. Para que um estudo epidemiológico possa ser aceite como indicando causalidade, é necessário que a relação observada verifique nove critérios, dos quais são apresentados os seis mais relevantes (Sá, 2011):

1. **Consistência e não enviesamento dos resultados:** Confirmação da associação por investigadores diferentes, em populações diferentes, usando métodos diferentes.
2. **Força da associação, que inclui dois aspetos:** a frequência com que o fator é encontrado na doença, e como ocorre na ausência da doença. Quanto maior o risco relativo¹⁴, mais a hipótese é reforçada. A maioria dos epidemiologistas considera que só um factor de 3 ou mais tem significado estatístico na incidência relativa em estudos epidemiológicos.
3. **Gradiente biológico (relação entre a dose e a resposta):** Relacionamento quantitativo entre o fator e a frequência da doença. A intensidade e a duração da exposição devem ser passíveis de medição.
4. **Especificidade:** Se o fator determinante que está a ser estudado puder ser isolado de outros e, se for possível, mostrar que produz mudanças na incidência da doença. Por exemplo, se se puder mostrar que o cancro da tiroide tem uma incidência mais elevada associada especificamente com o fluoreto, é concludente da evidência de uma causalidade.
5. **Coerência com a base biológica e o conhecimento precedente:** A evidência deve ajustar-se aos factos que se pensam estar relacionados. Por exemplo, o aumento de incidência de fluorose dental e o aumento de consumo de fluoreto são coerentes.
6. **Plausibilidade biológica:** A associação estatisticamente significativa ajusta-se bem ao conhecimento previamente existente.

¹² D.K. Li, B. Yan, Z. Li, E.S. Gao, M.H. Miao, D.M. Gong, X.P. Weng, J.R. Ferber, W. Yuan, *Exposure to magnetic fields and the risk of poor sperm quality*, (2010) 86–92.

¹³ *The environment and disease: association or causation? Proc Royal Soc Med*, 1965

¹⁴ Risco relativo (RR) – É a relação entre a taxa de doença no grupo sob estudo e no grupo de comparação, se necessário com ajustamentos para fatores de confusão, como por exemplo a idade. (ICNIRP, 2010)

O corpo dos seres humanos e dos animais perturba, de forma significativa, a distribuição espacial de um campo elétrico de baixa frequência. Em baixas frequências, o corpo é um bom condutor e as linhas de campo externas ao corpo são quase perpendiculares à sua superfície. São induzidas cargas oscilantes na superfície do corpo exposto e estas produzem correntes no seu interior. As principais características da dosimetria para a exposição dos humanos a campos elétricos de baixa frequência incluem (ICNIRP, 2010):

- O campo elétrico induzido no interior do corpo é significativamente inferior ao campo elétrico externo, aproximadamente cinco a seis vezes a frequência de 50 – 60 Hz;
- Para um determinado campo elétrico externo os campos mais fortes são induzidos quando o corpo humano se encontra em contacto perfeito com o solo através dos pés (ligação à terra) e os mais fracos são induzidos quando o corpo está isolado da terra;
- A corrente total que flui num corpo em contacto perfeito com o solo é determinada pelo tamanho e pela forma do corpo, incluindo a sua postura, e não pela condutividade do tecido;
- A distribuição de correntes induzidas ao longo dos vários órgãos e tecidos é determinada pela condutividade desses tecidos;
- Existe ainda um efeito indireto, em que a corrente no corpo é produzida pelo contacto com um objeto condutor localizado num campo elétrico.

Para campos magnéticos, a permeabilidade do tecido é a mesma do ar, pelo que o campo no tecido é o mesmo que o campo externo. O corpo dos humanos e dos animais não perturba o campo de forma significativa. A principal interação dos campos magnéticos é a indução de Faraday e as correntes associadas nos tecidos. Os campos magnéticos podem ainda ser induzidos pelo movimento num campo magnético estático. As principais características da dosimetria para a exposição dos humanos a campos magnéticos de baixa frequência incluem (ICNIRP, 2010):

- Para uma determinada intensidade e orientação do campo magnético são induzidos campos elétricos superiores nos corpos de pessoas de maiores dimensões uma vez que os possíveis circuitos condutores fechados são maiores;
- O campo elétrico e a corrente induzida dependem da orientação do campo magnético externo em relação ao corpo. Normalmente, os campos induzidos no corpo são maiores quando o campo se encontra alinhado entre a parte da frente e a parte de trás do corpo, mas para alguns órgãos, os valores mais elevados correspondem a alinhamentos diferentes do campo;
- Os campos elétricos mais fracos são induzidos por um campo magnético orientado ao longo do eixo principal do corpo;
- A distribuição do campo elétrico induzido é afetada pela condutividade dos vários órgãos e tecidos.

Efeitos biológicos dos campos elétricos

Por volta dos anos 60 do século XX, investigadores da antiga União Soviética foram os primeiros a reportar os possíveis efeitos dos campos elétricos sobre a saúde. Apresentaram relatos de alterações psicossomáticas, como dores de cabeça, ansiedade, insónias, e diminuição da libido entre os operários de subestações da rede de transporte de energia eléctrica. Dada a sua metodologia, estes estudos não foram concludentes para o mundo científico e os mesmos resultados não puderam ser observados em estudos posteriores, conduzidos noutras partes do mundo (Paulo Liberato, 2008).

No decorrer dos tempos, o debate sobre este tema culminou num consenso científico de que a exposição a campos elétricos de frequência reduzida não surte qualquer efeito prejudicial duradouro sobre a saúde humana (Paulo Liberato, 2008).

Efeitos biológicos dos campos magnéticos – A evolução da investigação

No estudo epidemiológico realizado no estado do Colorado, nos Estados Unidos, (Wertheimer & Leeper, 1979) estabeleceram a primeira relação entre os CM e os seus efeitos biológicos. Observaram que um grupo de crianças que sofria de leucemia habitava na proximidade de instalações elétricas. Apesar de apresentar falhas metodológicas, este estudo permitiu colocar, pela primeira vez, a questão de que a exposição a CM-FEB pode estar, de alguma forma, ligada a graves riscos para a saúde humana (Paulo Liberato, 2008).

Após a publicação deste estudo epidemiológico americano, as sociedades modernas que recorrem à energia elétrica como fonte de energia e, em particular, os órgãos do governo foram confrontados com a necessidade de aprofundar a análise dos efeitos dos CM-FEB na saúde. O envolvimento de crianças e de uma patologia grave deu à questão uma dimensão ainda mais significativa. Os campos magnéticos, por serem praticamente imperceptíveis e não poderem ser facilmente detidos por obstáculos materiais, passaram a ser percebidos pelo público como uma ameaça invisível e onnipresente para a qual não haveria proteção possível (Paulo Liberato, 2008).

Nas suas últimas linhas de orientação sobre CEM-FEB publicadas em 2010, a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) refere que os estudos epidemiológicos demonstraram, de forma consistente, que a exposição diária crónica de baixa intensidade (acima de 0,3–0,4 μ T) a campos magnéticos à frequência industrial está associada a um aumento do risco de leucemia infantil. Contudo, não foi comprovada uma relação causal entre os campos magnéticos e a leucemia infantil nem foram comprovados quaisquer outros efeitos a longo prazo (ICNIRP, 2010). Outra questão que assume uma sublinhada importância entre a comunidade científica é se as crianças são mais vulneráveis à exposição a CEM do que os adultos (Valic, Kos, & Gajsek, 2014).

Efeitos biológicos dos campos magnéticos – Perspetiva global

O objetivo da presente dissertação direciona o estudo para Campos Magnéticos Estáticos (CME) e para os CEM-FEB. Neste sentido, a análise que se segue será focalizada na faixa de frequências de 0 a 100 kHz. Para gamas de frequência acima dos 100 kHz devem ser considerados efeitos térmicos que não serão alvo do presente trabalho.

No que concerne aos potenciais efeitos dos CM, vários estudos têm sido desenvolvidos considerando diferentes riscos, nomeadamente: doenças cardiovasculares, doenças neurodegenerativas, sistema neuroendócrino, reprodução e desenvolvimento humano, cancro e neurocomportamento.

Doenças cardiovasculares

O sistema cardiovascular consiste no coração, a macro e microcirculação e o sistema vascular linfático. É responsável pelo transporte sistémico de sangue e linfa por todo o corpo. *Caro e Parker* (1990)¹⁵ definiram a macrocirculação como a circulação em que as forças de inércia não são negligenciáveis em relação às forças viscosas. Em seres humanos, a macrocirculação é composta pelo coração e pelos grandes vasos sanguíneos. Em contraste, a microcirculação integra os componentes do sistema cardiovascular composto por arteríolas, vénulas, capilares e anastomoses arteriovenosas. Este sistema está em contato direto com os tecidos do corpo e as células, e é responsável pelo fornecimento de nutrientes e oxigénio, remover metabólitos e realizar funções de termorregulação. O adulto médio tem cerca de 10^{11} vasos sanguíneos, a grande maioria são capilares. Na microcirculação as arteríolas, com um diâmetro do vaso < 30

¹⁵ *Caro CG, Parker KH (1990) Mechanics and imaging of the macrocirculation. Magn Reson Med 14(2):179–186.*

μm , são responsáveis pela maioria do controlo da resistência periférica (McNamee et al., 2009). A figura 19 apresenta a anatomia do coração.

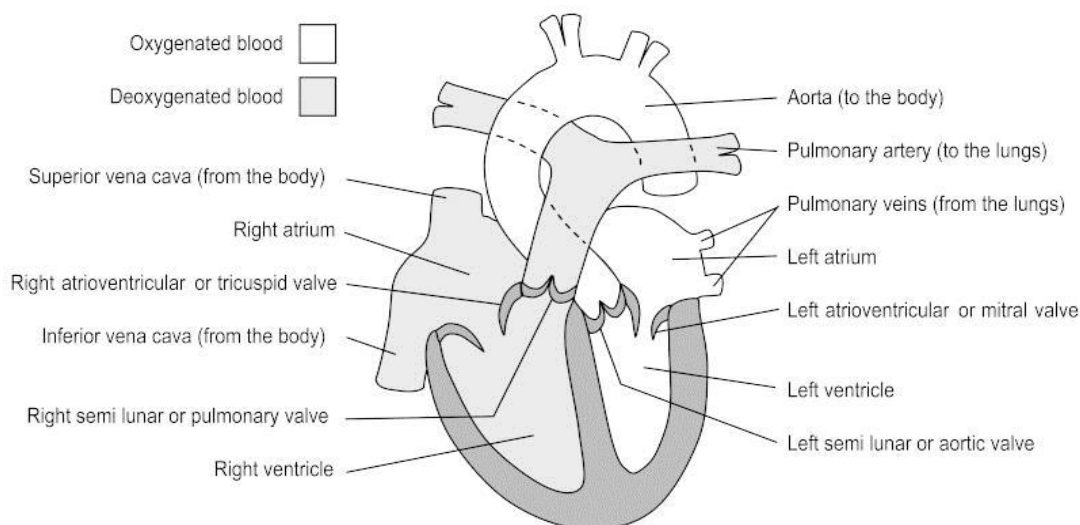


Figura 19 – Anatomia do coração¹⁶

Na análise da macrocirculação, as variáveis mais comuns são a frequência cardíaca (FC), a variação da frequência cardíaca (VFC), a pressão arterial (PA), sistólica, diastólica ou pressão arterial média, e a sensibilidade dos barorreceptores (McNamee et al., 2009).

Apesar dos estudos realizados até à data orientarem para uma potencial associação entre a exposição a CEM e os riscos sobre o sistema cardiovascular, as evidências científicas são amplamente inconclusivas (McNamee et al., 2009).

Savitz et al. (1998)¹⁷ desenvolveram um estudo que integrou um grupo de 138.903 trabalhadores do setor elétrico de cinco empresas dos Estados Unidos no período de 1950-1988, cujo objetivo foi estabelecer uma relação entre a mortalidade por doença cardiovascular e a exposição ocupacional a campos magnéticos. Os resultados apresentaram um aumento de risco relativo para o enfarte agudo do miocárdio ($RR=1,5$; Intervalo de Confiança [IC] de 95% = 1,4 – 1,7) e para a arritmia ($RR= 3,3$; 95% [IC] = 1,8 – 5,9) na categoria de exposição mais alta depois de controlar os efeitos da idade, ano civil, raça, classe social e a situação de trabalho. Estudos posteriores tentaram reproduzir estes resultados mas sem sucesso (Cooper et al., 2009).

Num estudo desenvolvido por Ghione et al.¹⁸ em 2004, 10 voluntários do sexo masculino foram submetidos, ao nível da cabeça, a um CEM com uma frequência de 37 Hz com a densidade de fluxo magnético de 80 μT por um período de 60 minutos. Foi verificado aumento significativo na pressão arterial sistólica durante a exposição, mas não foi confirmado nenhum efeito sobre a FC durante o mesmo período. No ano seguinte Ghione et al.¹⁹ investigaram os efeitos da exposição ao nível da cabeça, para um CEM com a frequência de 50 Hz, com uma densidade de fluxo magnético de 40 ou 80 μT durante 90 minutos, em voluntários do sexo masculino. O objetivo foi avaliar, especialmente, a percepção da dor, efeitos no eletroencefalograma (EEG), e os parâmetros cardiovasculares, incluindo FC e PA. Apesar de terem registado alterações na

¹⁶ Ilustração obtida em 02.05.2014 na ligação: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK45868/>

¹⁷ Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner RC, Kavet R. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol.* 1999;149:135–142.

¹⁸ Ghione S, Del Seppia C, Mezzasalma L, Emdin M, Luschi P (2004) Human head exposure to a 37 Hz electromagnetic field: effects on blood pressure, somatosensory perception, and related parameters.

¹⁹ Ghione S, Del Seppia C, Mezzasalma L, BonWglio L (2005) Effects of 50 Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans.

atividade do EEG (alpha 8-13 Hz) no grupo submetido à densidade de fluxo magnético de 80 μ T e percepção da dor no grupo submetido a 40 μ T, nenhuma alteração foi registado ao nível da FC ou PA em qualquer um dos grupos de exposição (McNamee et al., 2009).

Resultado diferente foi obtido por *Tabor et al.*²⁰ (2004) que registou uma significativa diminuição da FC, bem como um aumento significativo no VFC média de 8% para a exposição a CEM com frequência de 50 Hz ao nível do coração e cabeça com densidades de fluxo magnético, respetivamente de, 150 – 200 μ T e 20 – 30 μ T.

A tabela 8 apresenta um resumo de estudos epidemiológicos realizados e as principais conclusões obtidas. A tabela 9 resume os estudos laboratoriais que relacionam os efeitos dos CEM-FEB e a pressão sanguínea. Os estudos laboratoriais que relacionam a FC e VFC e os efeitos dos CEM-FEB são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Estudos epidemiológicos: efeito dos CEM-FEB e as DC (McNamee et al., 2009)

| Autores | Parâmetros de análise | Conclusões |
|-----------------------------------|---|--|
| <i>Savitz and Loomis (1995)</i> | Dados de mortalidade de 138.905 trabalhadores do sexo masculino de cinco grandes companhias de eletricidade dos EUA 1950-1988 | Redução da razão da mortalidade padrão |
| <i>Baris et al. (1996)</i> | 21.744 trabalhadores de serviços públicos elétricos empregados em <i>Quebec</i> entre 1970 e 1988 | Redução da razão da mortalidade padrão |
| <i>Kelsh and Sahl (1997)</i> | 40.335 trabalhadores da empresa <i>Southern California Edison</i> , entre 1960 e 1991 | Redução da razão da mortalidade padrão |
| <i>Savitz et al. (1999)</i> | Dados de mortalidade de 138.905 trabalhadores do sexo masculino de cinco grandes companhias de eletricidade dos EUA 1950-1988 | Aumento do risco de mortalidade por enfarte agudo do miocárdio (EAM) e arritmia para altas exposições ocupacionais a CEM |
| <i>Sahl et al. (2002)</i> | Mortalidade por EAM e doença coronária crónica (DCC) em 35.391 trabalhadores do sexo masculino da <i>Southern California Edison Company</i> entre 1960 e 1992 | Não houve associação entre aumento da mortalidade por EAM e DCC para altas exposições ocupacionais a CEM |
| <i>Johansen et al. (2002)</i> | 24.056 Trabalhadores masculinos de empresas de serviços públicos entre 1900 e 1993 | Sem aumento do risco de arritmia cardíaca grave para altas exposições ocupacionais a CEM |
| <i>Håkansson et al. (2003)</i> | 27.790 casos registados em dois estudos no <i>Swedish Twin Registry</i> (1961 e 1971) | Ligeiro aumento do risco de EAM no grupo de maior exposição |
| <i>Sorahan and Nichols (2004)</i> | 83.997 trabalhadores da antiga <i>Central Electricity Generating Board</i> da Inglaterra e País de Gales entre 1973 e 1997 | A exposição ocupacional a CEM não resultou num aumento perceptível do risco de desenvolver doenças cardiovasculares |
| <i>Ahlbom et al. (2004)</i> | <i>SHEEP (Stockholm Heart Epidemiology Program) study</i> | Nenhuma associação entre o risco de EAM e a exposição a CEM para altas exposições ocupacionais a CEM |
| <i>Santangelo et al. (2005)</i> | 28 maquinistas ferroviários expostos a CEM-FEB | A exposição não aumentou o risco de arritmias |
| <i>Borjanovic et al. (2005)</i> | 59 trabalhadores de subestações divididos em três estudos com nível de exposição diferentes | Nenhum efeito foi encontrado na FC média ou VFC |
| <i>Bortkiewicz et al. (2006)</i> | 63 trabalhadores de subestações expostos a CEM com frequência de 50 Hz | Significativamente maior risco de diminuição da VFC em relação ao grupo de controlo |

²⁰ Tabor Z, Michalski J, Rokita E (2004) Influence of 50 Hz magnetic field on human heart rate variability: linear and nonlinear analysis. *Bioelectromagnetics* 25:474–480.

Tabela 9 – Estudos laboratoriais: efeito dos CEM-FEB na PA (McNamee et al., 2009)

| Autores | Parâmetros de análise | Conclusões |
|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| <i>Korpinen and Partanen (1996)</i> | 26 indivíduos submetidos a uma exposição de corpo inteiro com parâmetros de 1,4-6,6 μ T (3,5-4,3 kV/m) com a duração de 1 h das linhas de transmissão | Sem efeitos registados |
| <i>Ghione et al. (2004)</i> | 13 indivíduos submetidos a uma exposição de 37 Hz, 80 μ T por 1 h ao nível da cabeça | Aumento da pressão arterial sistólica |
| <i>Ghione et al. (2005)</i> | 40 indivíduos submetidos a uma exposição de 50 Hz, 40 μ T ou 80 μ T por 1,5 h ao nível da cabeça | Sem efeitos registados |
| <i>Jeong et al. (2005)</i> | Exposição animal (rato) a CEM de 60 Hz, 2 mT para um período de 1 ou 5 dias | Sem efeitos registados |

Tabela 10 – Estudos laboratoriais: efeito dos CEM-FEB na FC e VFC (McNamee et al., 2009)

| Autores | Parâmetros de análise | Conclusões |
|--|---|--|
| <i>Cook et al. (1992) and Graham et al. (1994)</i> | 21 voluntários expostos a um campo elétrico e magnético combinado de 60 Hz (9 kV/m, 0,02 mT) | Diminuição da FC de repouso em aproximadamente 3-5 batimentos por minuto. Nenhum efeito registado para campos mais fortes ou mais fracos |
| <i>Korpinen et al. (1993)</i> | 26 voluntários do sexo masculino expostos a CEM com frequência de 50 Hz e densidades de fluxo magnético entre 1,02 μ T e 15,43 μ T | A FC diminuiu ligeiramente em alguns casos |
| <i>Korpinen and Partanen (1994)</i> | 26 voluntários do sexo masculino expostos a CEM com frequência de 50 Hz e densidades de fluxo magnético entre 1,4 μ T e 6,6 μ T | Nenhum efeito significativo sobre a FC |
| <i>Whittington et al. (1996)</i> | Exposição de 100 voluntários a CEM de frequência 50 Hz e densidade de fluxo de 100 μ T | Nenhum efeito significativo |
| <i>Graham et al. (2000)</i> | Meta-análise de sete estudos à frequência de exposição de 60 Hz | Sem registo de qualquer efeito à exposição durante a noite a campos de 60 Hz ao nível da FC e VFC |
| <i>Sastre et al. (2000)</i> | Exposição de 9 voluntários do sexo masculino durante a noite para a frequência de 16 Hz e densidade de fluxo magnético de 28,3 μ T | Consumo reduzido de energia na banda de baixa frequência da VFC, bem como diminuição da FC média |
| <i>Griefahn et al. (2001)</i> | Exposição de 7 voluntários do sexo masculino para a frequência de 16,7 Hz e densidade de fluxo magnético de 0,2 mT durante um período de 8 horas | Nenhum efeito significativo |
| <i>Kurokawa et al. (2003)</i> | Exposição de 50 voluntários numa gama de frequência de 50 Hz a 1000 Hz e densidade de fluxo magnético de 20 μ T a 100 μ T durante um período de 2 min. a 12 h | Nenhum efeito significativo |
| <i>Tabor et al. (2004)</i> | Exposição de 15 voluntários do sexo masculino para a frequência de 50 Hz e densidade de fluxo magnético de 150 μ T -200 μ T ao nível do coração e 20 μ T -30 μ T ao nível da cabeça durante um período de 1 horas | Significativa diminuição da FC média e significativo aumento da VFC média em 8% |
| <i>Ghione et al. (2005)</i> | Exposição de 26 voluntários para a frequência de 50 Hz e densidade de fluxo magnético de 40 μ T ou 80 μ T durante um período de 1,5 horas | Sem efeito sobre a FC |
| <i>Sait et al. (2006)</i> | Exposição de 20 voluntários para a frequência de 50 Hz e densidade de fluxo magnético de 28 μ T durante um período de 15 minutos e uma inclinação corporal de 60° | Sem efeito sobre a FC e VFC |

Doenças neurodegenerativas

Foi considerada a hipótese de a exposição a CEM-FEB estar associada a diversas doenças neurodegenerativas. No caso da doença de Parkinson e esclerose múltipla, o número de estudos são reduzidos e não existem evidências para a associação entre a exposição a CEM-FEB e essas doenças. Existem mais estudos publicados para a doença de Alzheimer e esclerose lateral amiotrófica (ICNIRP, 2010).

A **esclerose lateral amiotrófica** (ELA) pode ser definida como uma doença neurodegenerativa caracterizada por paralisia muscular progressiva, refletindo degeneração dos neurónios motores no córtex motor primário do tronco cerebral e da medula espinhal (Wijesekera & Leigh, 2009).

Zhou et al. realizaram em 2012 uma meta-análise que inclui 17 estudos que relacionavam o risco de ELA e a exposição a CEM-FEB. Este trabalho mostrou que os estudos baseados em categorias profissionais apresentam, para as ocupações elétricas, um aumento de riscos de ELA, no entanto os resultados dos estudos apoiados em matrizes de exposição ocupacional, não apresentam uma significativa associação entre CEM-FEB e o risco de ELA (Zhou, Chen, Chen, Yu, & Xu, 2012). Até ao momento, não foi comprovado nenhum mecanismo biológico que possa explicar esta associação, podendo esta, no entanto, ter surgido em virtude de fatores de confusão relacionados com a atividade laboral no setor da energia elétrica, como por exemplo choques elétricos (ICNIRP, 2010).

A **doença de Alzheimer** é a causa mais comum de demência degenerativa. Nos casos típicos, afeta inicialmente a memória, em seguida a linguagem e a desorientação temporal e espacial (Cho et al., 2013).

Em 2007 *Röösli et al.*, num estudo que envolvem 20.141 trabalhadores ferroviários dos caminhos de ferro Suíços, estudaram a relação entre os CM-FEB e a mortalidade por várias doenças neurodegenerativas. A taxa de risco para os maquinistas, expostos a CM-FEB de níveis elevados, em comparação com os chefes de estação, com uma exposição idêntica à população em geral, foi de 3,15 (95% [IC] = 0,90 – 11,04) para a doença de Alzheimer suportando uma associação positiva entre CM-FEB e o risco de desenvolvimento desta doença. Foram ainda encontradas pelos autores algumas evidências que o tempo de permanência acima de um limiar de exposição pode ser mais relevante que a exposição cumulativa global e, que a exposição mais recente apresenta uma maior associação ao risco quando comparada com exposições anteriores (Röösli et al., 2007).

Na meta-análise desenvolvida por *García et al.*, foram analisados 14 estudos epidemiológicos, publicados entre 1995 e 2004, focados na associação entre os CEM-FEB e a doença de Alzheimer. Os resultados obtidos sugerem um aumento do risco, embora o potencial enviesamento das pequenas amostras deva ser considerado na análise do resultado final. O aumento de risco foi registado, principalmente, para o sexo masculino e para níveis de exposições ocupacionais médios maior ou igual a 0,5 μ T (García, Sisternas, & Hoyos, 2008).

Sistema neuroendócrino

As glândulas pineal e pituitária são glândulas neuroendócrinas, situadas no cérebro, e são controladas pelo sistema nervoso. Têm como função libertar hormonas na corrente sanguínea e exercem uma profunda influência sobre o metabolismo e a fisiologia do corpo, principalmente durante o desenvolvimento e a reprodução, em parte pela sua influência sobre a libertação de hormonas de outras glândulas endócrinas situadas em diferentes partes do corpo (World Health Organization, 2007).

A melatonina é uma hormona natural (N-acetil-5-metoxitriptamina) produzida pela glândula pineal e regulada pelo núcleo supraquiasmático. Tem como função controlar o ritmo circadiano sendo ativada por ambientes escuros e inibido pela luz. Os níveis de melatonina são elevados

durante a noite e quase imperceptíveis durante o dia (Halgamuge, 2013). A localização do núcleo supraquiasmático é ilustrada na figura 20.

Os resultados de estudos em voluntários e estudos epidemiológicos residenciais e ocupacionais sugerem que o sistema neuroendócrino não é afetado de forma adversa pela exposição a CEM de frequência 50 – 60 Hz. Isto aplica-se sobretudo aos níveis circulantes de hormonas específicas, incluindo a melatonina libertada pela glândula pineal, e a algumas hormonas envolvidas no controlo do metabolismo e da fisiologia do organismo libertadas pela glândula pituitária. A maioria dos estudos laboratoriais com voluntários que analisam os efeitos da exposição a CEM, de frequência 50 – 60 Hz, sobre os níveis de melatonina durante a noite não demonstraram qualquer alteração significativa (ICNIRP, 2010).

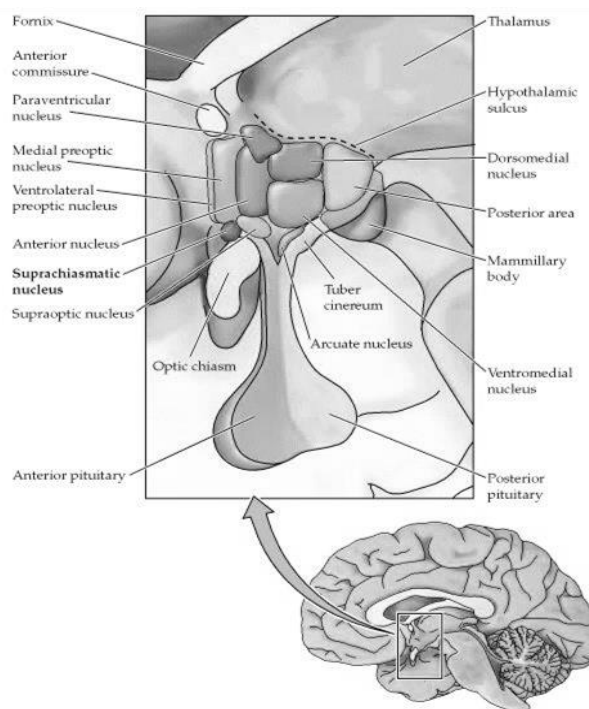


Figura 20 – Localização do núcleo supraquiasmático²¹

Reprodução e desenvolvimento humano

Os estudos epidemiológicos não demonstraram uma associação entre resultados adversos no aparelho reprodutor humano e a exposição materna ou paterna a CEM-FEB. Existem algumas evidências limitadas para um maior risco de aborto associado à exposição materna a campos magnéticos, mas esta associação não é comprovada por outros estudos e, de um modo geral, as evidências que apontam neste sentido são frágeis. A exposição de mamíferos a campos magnéticos de baixa frequência até 20 mT não resulta em deformações externas, viscerais ou esqueléticas graves. De um modo geral, é muito fraca a associação entre os CEM-FEB e os efeitos na reprodução e no desenvolvimento humano (ICNIRP, 2010).

Cancro

No estudo epidemiológico realizado em 1979, *Wertheimer e Leeper* identificaram uma potencial relação entre CM-FEB e a **leucemia infantil linfoblástica** entre crianças que moravam na proximidade de linhas de distribuição de energia elétrica (Wertheimer & Leeper, 1979).

A leucemia é um tipo de cancro do sangue e da medula óssea. A sua classificação tem como base os tipos de células que a originam (linfócitos, mielócitos ou monócitos) e a velocidade à qual a

²¹ Ilustração obtida em 03.05.2014 na ligação: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10839/figure/A1973/>

doença evolui (aguda ou crônica). A leucemia é o tipo de cancro mais comum na infância, constituindo cerca de um terço de todos os cânceros nesta idade (World Health Organization, 2007). A leucemia linfoblástica aguda representa 85% dos casos de leucemia infantil e tem um pico de incidência entre os 2 e os 4 anos de idade (Teepen & van Dijck, 2012).

Teepen & Dijck desenvolveram um estudo, publicado em 2012, tendo por base 3 estudos agrupados realizados entre 2000 e 2010. Os resultados apresentados mostram uma associação consistente entre os CEM-FEB e a leucemia infantil com um índice de aumento de 1,4 a 1,7 vezes para exposições acima de 0,3 μT quando comparados com exposições inferiores a 0,1 μT (Teepen & van Dijck, 2012). Estes resultados sustentam os obtidos anteriormente por Kheifets *et al.* em 2010 e Schüz *J.* em 2011 que referem que a associação entre os CEM-FEB e a leucemia infantil prevalece válida (Kheifets *et al.*, 2010; Schüz, 2011).

Num estudo desenvolvido na Dinamarca, publicado em 2014, Pedersen *et al.* não encontraram um risco acrescido de leucemia para crianças que vivem entre 0 e 599 metros de uma linha aérea de 132/400 kV em comparação com as crianças que vivem a mais de 600 metros dessa mesma linha aérea. Um risco ligeiramente superior foi registado para crianças que vivem entre 200 e 599 metros de uma linha aérea de 220/400 kV, 1,76 (95% [IC] = 0,82 – 3,77). No entanto os autores consideram a amostra pouco significativa atribuindo a este resultado uma provável descoberta casual (Pedersen *et al.*, 2014).

Nos últimos anos foram desenvolvidos alguns estudos ao nível dos **tumores do cerebrais em crianças**. Em 2008 Mezei *et al.*²², desenvolveram uma meta-análise incluindo o resultado de 13 estudos. Os resultados obtidos mostraram uma *odds ratio* de 0,88 (95% [IC]= 0,57 – 1,37) para distâncias entre a residência e a linha de energia inferior a 50 metros e 1,14 (95% [IC]= 0,78 – 1,67) para CM-FEB superiores a 0,2 μT . Num trabalho posterior que integrou 10 estudos agrupados, desenvolvido em 2010 por Kheifets *et al.*²³, foram analisados 8.372 casos com tumores cerebrais em linha de análise com 11.494 casos controlo. Os resultados apresentam uma fraca evidência de associação entre os CM-FEB e os tumores cerebrais infantis (Schüz, 2011).

Num estudo publicado em 2013, tendo por base de trabalho uma meta-análise que inclui 18 estudos, Sun *et al.* sugerem que a exposição a CEM pode estar associado ao aumento de risco de **cancro da mama** no sexo masculino (Sun *et al.*, 2013).

O cancro da mama é a doença maligna mais comum nas mulheres e a sua incidência continua a aumentar. Chen *et al.* desenvolveram um estudo, publicado em 2013, cujo objetivo principal foi validar a relação entre a exposição CEM-FEB e o desenvolvimento de cancro da mama no sexo feminino. Foram analisados 23 estudos publicados no período de 1990 e 2010 obtendo uma *odds ratio* de 1,07 (95% [IC]= 1,02 – 1,13) para o subgrupo receptor de estrogénio positivo (marcador tumoral) e 1,11 (95% [IC]= 1,03 – 1,20) para o subgrupo pré-menopausa. Os autores induzem que estes resultados podem estar relacionados com um risco aumentado para o cancro da mama no sexo feminino, especialmente para o receptor de estrogénio positivo e pré-menopausa, considerando existir limitações do estudo ao nível da avaliação da exposição (Chen *et al.*, 2013).

Em 2013 Koeman *et al.* desenvolveram um estudo a nível ocupacional na Holanda cujo propósito foi estabelecer a potencial associação dos CM-FEB e o risco do desenvolvimento de cancro. Os autores não encontraram nenhuma evidência desta correlação para o cancro do pulmão, cancro da mama e cancro cerebral. Por outro lado, para o linfoma folicular e leucemia mieloide aguda (LMA), no sexo masculino, foi observada uma possível relação associada à exposição a CM-FEB, que no entanto para a LMA não evidenciou uma relação de exposição – resposta clara (Koeman *et al.*, 2013).

²² Mezei, G., *et al.*, 2008. Residential magnetic field exposure and childhood brain cancer: a meta-analysis. *Epidemiology* 19, 424 e 430.

²³ Kheifets, L., *et al.*, 2010b. A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors. *Am. J. Epidemiol.* 172, 752 e 761.

Neurocomportamento

A exposição a CE-FEB provoca respostas biológicas bem definidas, que vão desde a percepção até ao incómodo, através de efeitos de cargas elétricas superficiais. Os limiares para a percepção direta em 10% dos voluntários mais sensíveis a 50 – 60 Hz situaram-se entre os 2 e os 5 kV.m⁻¹ e 5% considerou 15 – 20 kV.m⁻¹ incomodativo. A descarga eletrostática através de uma pessoa à terra é considerada dolorosa em 7% dos voluntários num campo de 5 kV.m⁻¹, ao mesmo tempo que seria dolorosa para cerca de 50% num campo de 10 kV.m⁻¹. O limiar da percepção para a descarga eletrostática através de uma pessoa ligada à terra depende do tamanho do objeto e, consequentemente, exige uma avaliação individual (ICNIRP, 2010).

Foi devidamente comprovada, há vários anos, a resposta dos tecidos musculares e dos nervos eletricamente excitáveis aos estímulos elétricos, incluindo as respostas induzidas por exposição a CEM de baixa frequência. Estima-se que as fibras nervosas mielínicas do sistema nervoso periférico humano possuam um limiar mínimo perto de 6 V_{pico}.m⁻¹, com base em cálculos teóricos usando um modelo de nervo. No entanto, a estimulação induzida no sistema nervoso periférico durante a exposição do voluntário aos campos magnéticos variáveis em ressonâncias magnéticas sugeriu que o limiar da percepção poderá ser tão baixo como 2 V.m⁻¹, com base em cálculos sobre um modelo humano homogéneo do tipo *human phantom model*. (ICNIRP, 2010).

O efeito mais consistentes dos campos elétricos abaixo do limiar de excitação direta dos nervos ou dos músculos é a indução de fosfenos magnéticos, que se traduz pela percepção visual de uma cintilação fraca na periferia do campo visual, nas retinas dos voluntários expostos a CEM-FEB. Estima-se que o limiar para as forças do campo elétrico induzido na retina esteja compreendido entre 50 e 100 mV.m⁻¹ a 20 Hz, aumentando em frequências superiores e inferiores apesar de existir uma incerteza significativa em relação a estes valores. O limiar mínimo da densidade de fluxo magnético é de cerca de 5 mT a 20 Hz, aumentando em frequências superiores e inferiores. Nestes estudos, pensa-se que os fosfenos resultam da interação do campo elétrico induzido com células eletricamente excitáveis da retina (ICNIRP, 2010).

As propriedades intrínsecas do tecido nervoso do Sistema Nervoso Central (SNC) poderão torná-lo sensível aos efeitos dos campos elétricos fisiologicamente fracos, assim como as funções de processos cognitivos tais como a memória. Saunders e Jefferys (2002)²⁴ sugeriram que a polarização elétrica dos neurónios no SNC induzida por estes campos elétricos fracos poderia melhorar a sincronização de grupos ativos de neurónios e afetar o restabelecimento de neurónios não ativos adjacentes, o que influenciaria a excitabilidade e atividade gerais das células nervosas. Evidências *in vitro* de estudos que usaram culturas de tecidos cerebrais sugerem que os limiares mínimos para estes efeitos ficam abaixo de frequências de, aproximadamente, 100 Hz, podendo assumir valores tão baixos como 100 mV.m⁻¹. Dois grupos de investigação analisaram os efeitos destes campos elétricos quando aplicados diretamente na cabeça através de eléctrodos. Esta pesquisa investigou os efeitos na atividade e função elétrica do cérebro em seres humanos. Um dos grupos, Kanai *et al.* 2008²⁵, verificou que a estimulação do córtex visual induziu a percepção de fosfenos corticais, de aspeto semelhante aos fosfenos induzidos na retina, quando a frequência do estímulo era característica da atividade cortical visual em condições sem luz (cerca de 10 Hz) ou com luz (cerca de 20 Hz), no entanto os resultados não se verificaram a frequências superiores ou inferiores. O outro grupo, Pogosyan *et al.* 2009²⁶, aplicou um sinal de 20 Hz no córtex motor dos voluntários durante a realização de uma tarefa visual – motora e constatou um pequeno, mas estatisticamente significativo, abrandamento do movimento da mão durante a

²⁴ Saunders RD, Jefferys JG. Weak electric field interactions in the central nervous system. *Health Phys* 83:366–375; 2002.

²⁵ Kanai R, Chaieb L, Antal A, Walsh V, Paulus W. Frequency dependent electrical stimulation of the visual cortex. *Curr Biol* 18:1839–1843; 2008.

²⁶ Pogosyan A, Gaynor LD, Eusebio A, Brown P. Boosting cortical activity at beta-band frequencies slows movement in humans. *Curr Biol* 19:1–5; 2009.

realização da tarefa, o que era consistente com uma maior sincronização da atividade do córtex motor de 20 Hz. Não foi observado qualquer efeito com uma frequência de estímulo inferior. Em síntese, ambos os grupos de autores constataram que os campos eléctricos de 10 – 20 Hz, acima do limiar de fosfenos retinais, conseguem interagir com a actividade eléctrica rítmica em curso nos córtices visual e motor e afetam ligeiramente o processamento visual e a coordenação motora, o que poderá significar que os campos eléctricos induzidos por CEM de 10 – 20 Hz com uma magnitude suficiente poderão produzir efeitos semelhantes (ICNIRP, 2010).

Contudo, é muito menos clara a evidência de efeitos neuro-comportamentais sobre a atividade eléctrica, a cognição, o sono e a disposição geral em voluntários expostos a CEM-FEB. De um modo geral, estes estudos foram desenvolvidos com níveis de exposição iguais ou inferiores a 1–2 mT, ou seja, abaixo dos níveis necessários para induzir os efeitos anteriormente descritos, e conduziram a evidências com efeitos subtis e passageiros, quando muito. Algumas pessoas afirmam ser hipersensíveis aos CEM em geral. Contudo, as evidências de estudos baseados em ensaios clínicos em dupla ocultação sugerem que os sintomas registados não estão relacionados com a exposição a CEM. Existem apenas evidências não consistentes e inconclusivas de que a exposição a campos eléctricos e magnéticos de baixa frequência origine sintomas depressivos ou suicídio (ICNIRP, 2010).

Neste alinhamento, a percepção da carga eléctrica superficial, a estimulação direta dos nervos e do tecido muscular e a indução de fosfenos na retina são efeitos adversos devidamente comprovados e que podem servir de base de orientação. Além disso, existem evidências científicas indiretas de que as funções do cérebro, como por exemplo o processamento e a coordenação motora, podem ser afetados de forma temporária por campos eléctricos induzidos. Contudo, as evidências de outras investigações ao nível do neurocomportamento em voluntários expostos a CEM-FEB não são suficientemente suportadas para fornecer uma base para a definição dos limites de exposição humana (ICNIRP, 2010).

Resumo dos efeitos biológicos

De uma forma geral, existe a necessidade de sustentar a análise da relação dos potenciais efeitos adversos na saúde humana e a exposição a CEM-FEB através de mais estudos com recurso à mais avançada tecnologia,. A *European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure* (EFHRAN) apresentou em 2012 no seu relatório *Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields* um resumo do estado atual do conhecimento científico relativo a este tema. Esta avaliação encontra-se estruturada em quatro níveis de classificação que demonstram a força das evidências científicas existentes e que são apresentadas na tabela 11 (EFHRAN, 2012). A tabela 12 representa o atual conhecimento científico de acordo com o relatório referido.

Tabela 11 – Classificação das evidências científicas segundo a EFHRAN (EFHRAN, 2012)





| Classificação | Critérios |
|--|---|
|  Sufficient evidence | <ul style="list-style-type: none"> - Quando uma relação positiva é observada entre a exposição e o efeito investigado; - Quando o efeito é replicado em vários estudos por investigadores independentes ou com diferentes protocolos e quando há uma relação de exposição-resposta consistente; - Quando os fatores de confusão podem ser eliminados com uma confiança razoável. |
|  Limited evidence | <ul style="list-style-type: none"> - Quando a evidência do efeito é restrito a um reduzido número de estudos, ou quando há questões não resolvidas em relação à adequação do projeto, conduta ou interpretação do estudo; - Quando os fatores de confusão não podem ser descartados nos estudos com razoável confiança. |
|  Inadequate evidence | <ul style="list-style-type: none"> - Quando os estudos são de qualidade insuficiente, consistência ou reduzido poder estatístico para permitir uma conclusão. |
|  Evidence suggesting a lack of effects | <ul style="list-style-type: none"> - Quando não são reportados efeitos em vários estudos por investigadores independentes em diferentes protocolos que envolvem pelo menos duas espécies ou dois tipos de células e uma gama suficiente de intensidades de campo. |

Tabela 12 – Resultados do conhecimento científico para os CM-FEB (EFHRAN, 2012)

| | Resultado | Força da evidência |
|-----------------------------------|--|--------------------|
| Tipos de cancro | Leucemia infantil | ● |
| | Tumor cerebral infantil | ● |
| | Tumor cerebral em adultos | ● |
| | Cancro da mama em adultos | ● |
| | Outros tipos de cancro (Crianças e adultos) | ● |
| Doenças neurodegenerativas | Doença de Alzheimer | ● |
| | Esclerose lateral amiotrófica | ● |
| | Outras doenças neurodegenerativas | ● |
| Sistema reprodução | Todos os resultados ao nível do sistema reprodução | ● |
| Doenças Cardiovasculares | Todas as doenças cardiovasculares | ● |

2.1.5 Processos de soldadura por arco elétrico

A soldadura é utilizada em larga escala na indústria, na construção, na manutenção e, em particular, na construção de automóveis. Os profissionais que executam as tarefas de soldadura estão expostos a campos magnéticos gerados pelo próprio processo. Existem vários processos de soldadura, no entanto os mais utilizados são a soldadura por arco elétrico (Soldadura com Eléctrodo Revestido – SER, *Metal Inert Gas* – MIG, *Metal Active Gas* – MAG, *Tungsten Inert Gas* – TIG e Plasma) e a soldadura por resistência. Dependendo do processo de soldadura e da tecnologia, a frequência fundamental encontra-se na gama de 0 Hz a algumas centenas de kHz (Garrido & Dinis, 2014).

Os parâmetros com uma influência direta na exposição a CM são o tipo de corrente elétrica utilizada, AC ou CC, a sua magnitude e a distância a que o soldador se encontra dos cabos de alimentação da tocha ou porta-eléctrodos e do equipamento de soldadura. Os processos de soldadura podem ser manuais ou semiautomáticos. Normalmente, nos processos manuais a distância entre o soldador e os cabos é inferior quando comparada com os processos automáticos. Nos processos SER, MIG, MAG e TIG a corrente é tipicamente da ordem dos 50 a 400 A (Skotte & Hjøllund, 1997). O porta-eléctrodo na soldadura SER ou a tocha na soldadura MIG, MAG e TIG é mantido na mão do soldador e a corrente de soldadura é transportada através de um cabo de alimentação. De acordo com o tipo de processo específico a corrente pode ser DC, AC sinusoidal, AC quadrada ou pulsada (Grassi, Spadacini, & Pignari, 2012).

O processo SER, também denominado *Manual Metal Arc* (MMA) ou *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), é o mais antigo e versátil dos vários processos de soldadura. Neste processo é estabelecido um arco elétrico entre a ponta de um eléctrodo revestido e a peça de trabalho, o que origina a transferência ao longo do arco de gotas de metal em fusão para o banho formado na zona da junta de soldadura. Estas gotas de metal, bem como todo o banho em fusão, são protegidas da contaminação atmosférica através de um envelope gasoso gerado pela decomposição do revestimento do eléctrodo. A escória que se produz flutua sobre o banho em fusão protegendo o metal depositado da contaminação atmosférica durante o período de solidificação, e deverá ser removida após a execução de cada passe de soldadura. Atualmente, produzem-se centenas de tipos de eléctrodos que garantem aos respetivos metais depositados características de durabilidade, resistência mecânica e ductilidade.

Este processo é essencialmente utilizado para a soldadura de ligas ferrosas na fabricação de estruturas metálicas, na construção naval e nos trabalhos de metalomecânica em geral. Apesar da relativa lentidão de execução do processo, devido às trocas de eletrodo e à necessidade de remover a escória, esta permanece como uma das técnicas de soldadura mais flexíveis apresentando vantagens notórias em áreas de acesso restrito²⁷. A figura 21 ilustra o processo de soldadura SER.

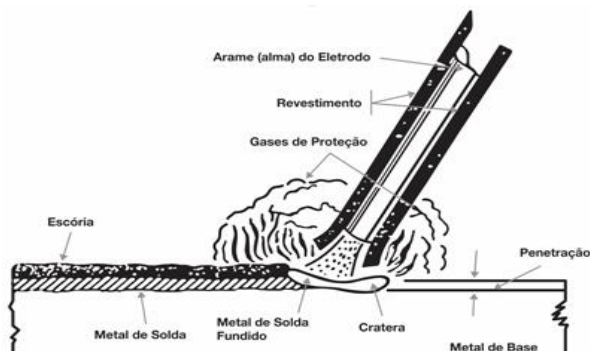


Figura 21 – Processo de soldadura SER²⁸

Na soldadura por arco elétrico com proteção gasosa, também conhecida como soldadura MIG/MAG, estabelece-se um arco entre um fio alimentado de forma contínua e a peça de trabalho. O arco e o banho em fusão são protegidos da contaminação atmosférica por um envelope de gás ativo (MAG) ou inerte (MIG). Este processo é adequado para a maioria dos materiais, estando disponíveis fios para uma vasta gama de metais²⁹. A figura 22 representa este processo de soldadura MIG/MAG.

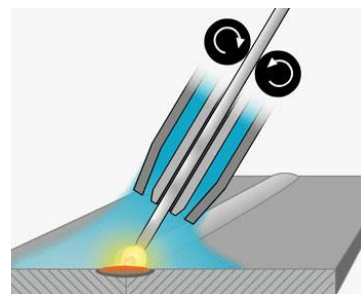
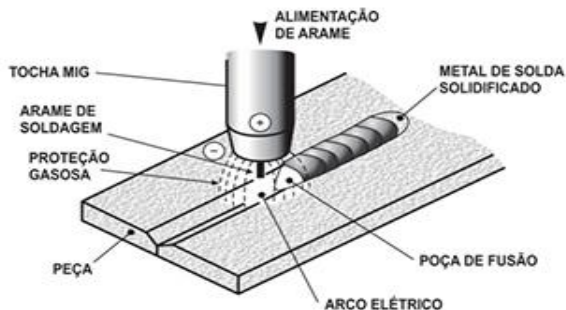


Figura 22 – Processo de soldadura MIG/MAG³⁰

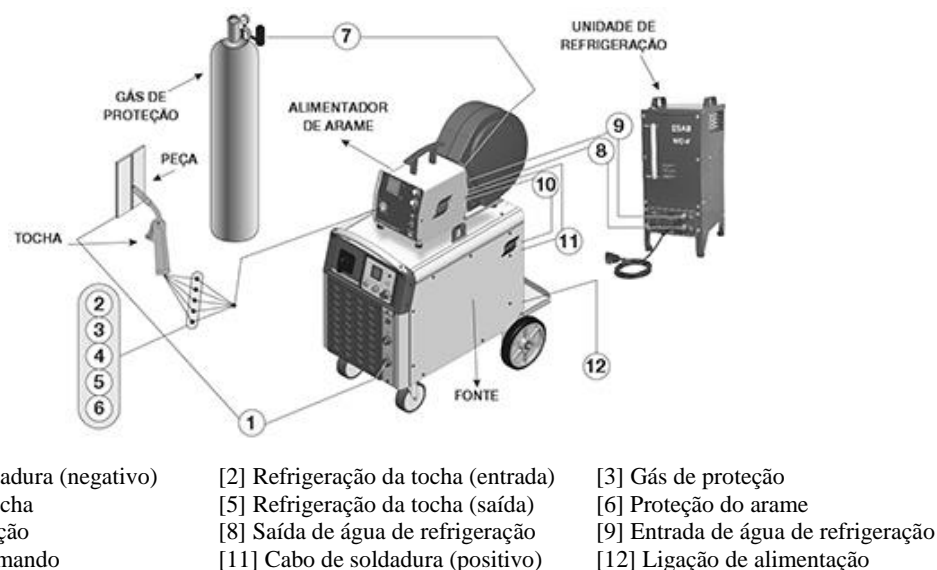
A soldadura MIG/MAG é mais produtiva que a soldadura SER uma vez, que não existem trocas de eletrodo, remoção de escória e desperdícios do consumível, como o verificado no processo SER em que as pontas dos eletrodos são descartadas. Por cada kg de eletrodos revestidos apenas cerca de 65% do seu peso se torna parte do metal depositado. A utilização de fios sólidos e fios fluxados permite um aumento da taxa de eficiência para cerca de 80 – 95%. A soldadura MIG/MAG é um processo versátil que pode atingir taxas de depósito elevadas em todas as posições. Este processo é largamente utilizado em fabricação metálica com chapas de aço de baixa e média espessura e em estruturas de alumínio. Após a introdução dos fios fluxados no mercado, a sua procura tem vindo a aumentar para aplicações na metalomecânica pesada. A figura 23 ilustra um sistema de soldadura MIG/MAG.

²⁷ Informação técnica obtida em 22.06.2014 na ligação: <http://pt.esab.net/pt/pt/education/processo-mma-smaw.cfm>

²⁸ Ilustração obtida em 22.06.2014 na ligação: http://www.esab.com.br/por/Instrucao/processos_soldagem/eletrodo_revestido.cfm

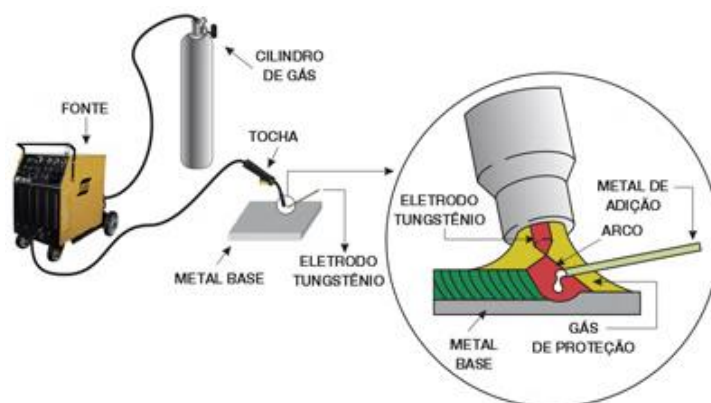
²⁹ Informação obtida em 22.06.2014 na ligação: <http://pt.esab.net/pt/pt/education/processos-migmag-gmaw.cfm>

³⁰ Ilustrações obtidas em 22.06.2014 na ligação: http://www.esab.com.br/por/Instrucao/processos_soldagem/mig_mag.cfm

Figura 23 – Sistema de soldadura MIG/MAG³¹

A soldadura por arco elétrico com proteção gasosa e eletrodo de tungstênio não consumível, também conhecida como “soldadura com gás e tungstênio” ou soldadura TIG, é um processo que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível. O eletrodo, o arco e a área circundante ao banho em fusão são protegidos da contaminação atmosférica por um envelope de gás inerte. Caso seja necessária uma adição de material, esta é feita através da fusão de material proveniente dum fio ou vareta no banho em fusão. Dado que não se produz qualquer tipo de escória, elimina-se a possibilidade de impurezas no metal depositado e o cordão final não exige grande nível de limpeza, produzindo assim um produto final de alta qualidade³².

A soldadura TIG pode ser utilizada para a união de quase todos os tipos de metais, sendo este processo adequado quer para soldadura manual como para soldadura mecanizada ou automatizada. Este processo é frequentemente utilizado para a soldadura de alumínio e de aços inoxidáveis em que a integridade dos metais depositados é de crucial importância, razão pela qual é usado na obtenção de juntas soldadas de elevada qualidade nas indústrias nuclear, química e aeronáutica³². O processo TIG é ilustrado na figura 24.

Figura 24 – Processo de soldadura TIG³³

³¹ Ilustração obtidas em 22.06.2014 na ligação: http://www.esab.com.br/pt/education/blog/welding_process.cfm

³² Informação técnica obtida em 22.06.2014 na ligação: <http://pt.esab.net/pt/education/proceso-gtaw-tig.cfm>

³³ Ilustração obtidas em 22.06.2014 na ligação: http://www.esab.com.br/pt/por/Instrucao/processos_soldagem/soldagem_tig.cfm

As fontes de corrente para soldadura apresentam diversas tecnologias. Normalmente, o equipamento utiliza um sistema de alimentação trifásico ($U=400\text{ V}$), no entanto os equipamentos de baixa potência podem ser projetados com um sistema de alimentação monofásico ($U=230\text{ V}$). A fonte mais simples é constituída por um transformador que produz uma saída em CA com a frequência da rede de alimentação. Uma fonte com um transformador trifásico e díodos retificadores produz uma saída CC com uma pequena ondulação de aproximadamente de 4% e com o 6.º harmónico dominante com uma frequência na gama dos 300 – 360 Hz. As fontes de corrente ajustável com controlo por tirístores criam, em comparação com as anteriores, uma maior ondulação CA na saída. As fontes de corrente com tecnologia conversor e inversor produzem um sinal de saída praticamente DC (Skotte & Hjøllund, 1997).

Os semicondutores têm sido aplicados com sucesso ao longo do tempo em conversores de energia para diferentes propósitos e níveis de potência. Em paralelo com os díodos de potência e os tirístores, os IGBT³⁴ de potência e os transístores MOSFET³⁵ são utilizados no projeto de inversores. O recurso à tecnologia dos microprocessadores e aos princípios do controlo por largura de impulso para controlar estes dispositivos semicondutores, permite alargar de forma significativa o espetro de aplicação. Esta tecnologia tem assumido expressão e substituídos os aparelhos de soldadura tradicionais (Bardin, Borisov, Zemskov, & Pivkin, 2012).

2.1.6 Revisão sistemática com a aplicação da metodologia PRISMA

Com o objetivo de avaliar a informação disponível a nível científico sobre os efeitos biológicos associados à exposição a CEM nas atividades de soldadura foi desenvolvida uma revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA³⁶. Esta pesquisa foi desenvolvida entre maio e agosto de 2014 nas bases de dados eletrónicas MEDLINE, SCOPUS e PubMed. Na tentativa de maximizar a pesquisa foram utilizadas palavras-chave simples, bem como expressões complexas: *"electromagnetic fields" + welding + "health effects"*; *"electromagnetic fields" + welding + "cancer"*; *"electromagnetic fields" + welders*; *"electromagnetic fields" + welding*; *"electromagnetic fields" + "arc welding" + "adverse effects"*; *"electromagnetic fields" + "arc welding" + "health effects"*; *"electromagnetic fields" + "arc welding" + "occupational exposure"*; *"arc welding" + "occupational exposure"*; *"electromagnetic fields" + "arc welding" + "biological effects"*; *"electromagnetic fields" + "exposure assessment" + "arc welding"*; *"magnetic fields" + "welding machines"*; *"electromagnetic fields" + "welding machines"*; *"electromagnetic fields" + "welding machines" + "health effects"*; *"electromagnetic fields" + "arc welding" + assessment*; *"static magnetic field" + welding + exposure*; *"static magnetic field" + "welding processes"*; *"electromagnetic fields" + "welding processes"*; *"electromagnetic fields" + interference* e *"electromagnetic fields" + interference + "arc welding"*.

Todas as combinações foram analisadas nas várias bases de dados eletrónicas com recurso ao operador booleano AND. Não foi considerada nenhuma restrição temporal na seleção dos artigos. Os critérios de elegibilidade da pesquisa são indicados de seguida:

- Artigos que analisem a exposição ocupacional a campos eletromagnéticos na atividade profissional de soldador;
- Artigos que integrem o processo de soldadura por arco elétrico;
- Artigos disponíveis em Inglês ou Português;
- Artigos disponíveis em texto integral.

Todos os estudos identificados foram selecionados inicialmente pelo título e resumo, e posteriormente foram analisados com pormenor os textos integrais.

³⁴ IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

³⁵ MOSFET – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*

³⁶ Metodologia PRISMA. Acesso em 05.05.2014 na ligação <http://www.prisma-statement.org/>

A pesquisa resultou em 444 resultados com a seguinte distribuição: MEDLINE (125), SCOPUS (305) e PubMed (14). Não foram considerados 120 artigos por se encontrarem repetidos e 4 por não estarem disponível em versão integral. Pela análise do título e do resumo foram excluídos 303 artigos dos quais, 7 estavam associados a diferentes processos de soldadura, 43 estudavam outros riscos ocupacionais, nomeadamente radiações óticas e fumos de soldadura, e 253 artigos estavam relacionados com outro tema que não o tema em estudo. Destes artigos 17 cumpriram os critérios de elegibilidade e os textos integrais foram analisados detalhadamente.

Após esta avaliação integral dos artigos elegíveis, a revisão sistemática totalizou 14 artigos compreendidos entre 1987 e 2014: MEDLINE (8), SCOPUS (4) e PubMed (2). Foram excluídos 3 artigos nesta fase de análise por não cumprirem com rigor os critérios de elegibilidade estabelecidos.

A figura 25 apresenta a estrutura global da revisão sistemática. A tabela 13 agrupa os artigos analisados por assunto tratado, nomeadamente, avaliação ocupacional da exposição a CEM, avaliação do efeito biológico da exposição a CEM e interferência dos CEM com implantes médicos ativos, e pelo ano de publicação.

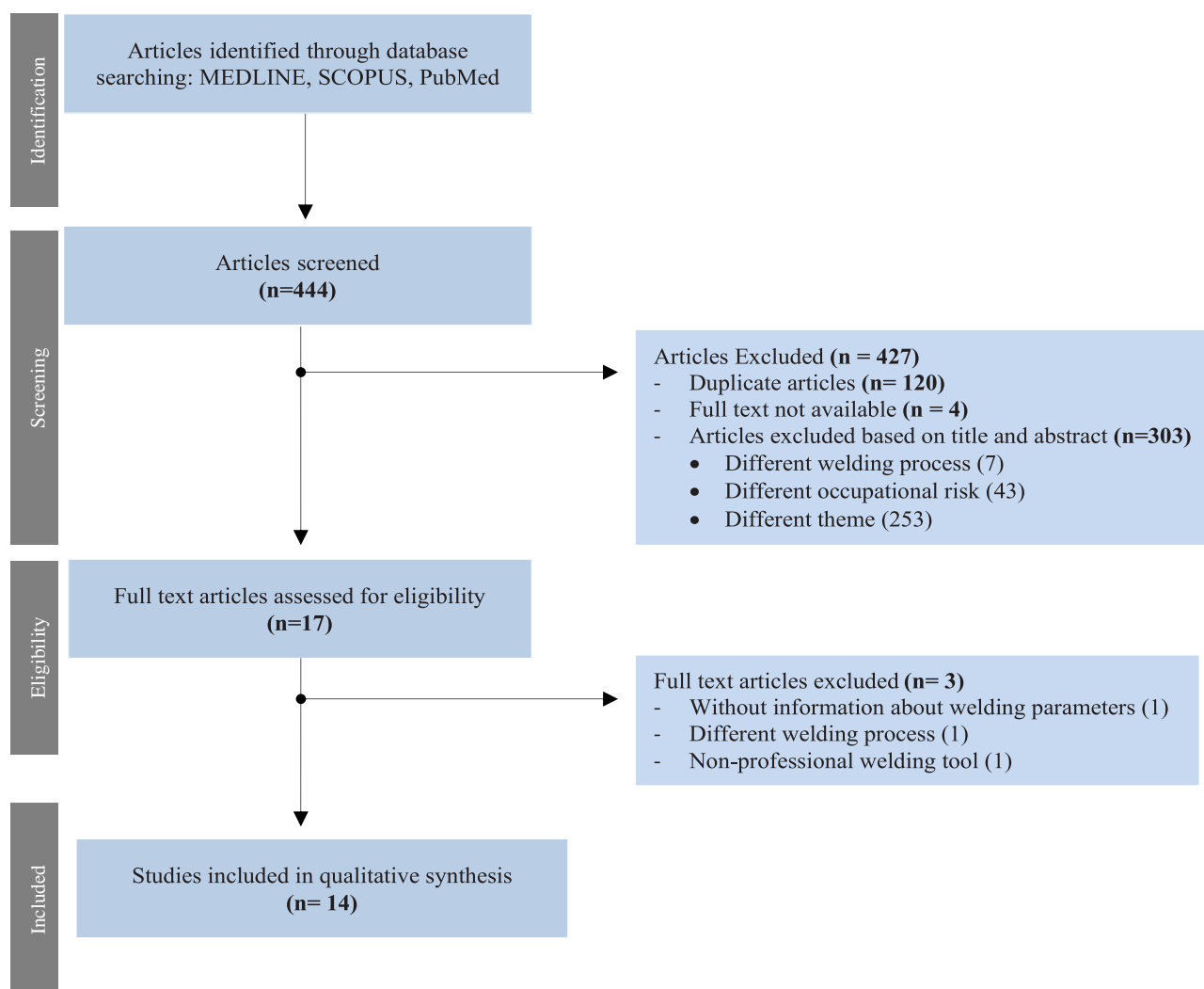


Figura 25 – Revisão sistemática (metodologia PRISMA)

Nos países industrializados 0,2 a 2% da população ativa realiza atividades de soldadura. Existem, no entanto, grandes diferenças no tipo de tecnologia e materiais utilizados. Outra variável importante a considerar é a distribuição de tempo associado à realização de tarefas de soldadura, que pode variar entre momentos de soldadura pontual ao longo do dia até a realização

de tarefas de soldadura ao longo da totalidade, ou quase totalidade, do dia de trabalho (Skotte & Hjøllund, 1997). Os soldadores e os profissionais que trabalham próximo de linhas de alta tensão estão sujeitos a uma exposição a CEM elevada, sendo os soldadores os que apresentam uma exposição média diária mais elevada a nível profissional (Dominici et al., 2011).

Tabela 13 – Artigos analisados por assunto tratado e ano de publicação

| Ano de publicação | Artigos analisados | (1) | (2) | (3) |
|-------------------|--------------------|--|---|------------------------------------|
| 1987 | 1 | | (Stern, 1987) | |
| 1996 | 2 | | (Wilkins JR & Wellage, 1996) | (Fetter, Benditt, & Stanton, 1996) |
| 1997 | 1 | (Skotte & Hjøllund, 1997) | | |
| 2002 | 1 | | (Dasdag, Sert, Akdag, & Batun, 2002) | |
| 2003 | 1 | | | (Gurevitz et al., 2003) |
| 2005 | 1 | | (Håkansson, Stenlund, Gustavsson, Johansen, & Floderus, 2005) | |
| 2007 | 1 | (Man & Shahidan, 2007) | | |
| 2011 | 2 | (Yamaguchi-Sekino et al., 2011) | (Dominici et al., 2011) | |
| 2012 | 2 | (Grassi et al., 2012) (S. Marzec, 2012) | | |
| 2013 | 1 | | | (Tiikkaja et al., 2013) |
| 2014 | 1 | (Garrido & Dinis, 2014) | | |

(1) Avaliação ocupacional da exposição a CEM

(2) Avaliação do efeito biológico da exposição a CEM

(3) Interferência dos CEM com implantes médicos ativos

(Skotte & Hjøllund, 1997) realizaram uma avaliação da exposição a CEM-FEB entre 50 profissionais da área metalúrgica e 15 soldadores a tempo inteiro. Os soldadores considerados no estudo utilizavam vários processos de soldadura por arco elétrico, nomeadamente, o processo SER, MIG/MAG, TIG e soldadura por arco submerso (AS). A exposição foi medida na região da cintura através de dois medidores pessoais, um na gama de 0,01 a 70 μT e outro na gama de 1 a 7000 μT . As medições nos profissionais metalúrgicos foram realizadas durante 3 dias consecutivos com amostradas a cada 10 segundos e com a duração total de 13 horas (primeiro dia: 5 horas no processo SER, 2.º dia 5 h no processo MIG/MAG e 3.º dia 3 horas no processo MIG/MAG). No grupo dos soldadores as medições desenvolveram-se num total de 2 dias sucessivos com um tempo de amostragem de 4 segundos. Foram registados CEM-FEB instantâneos da ordem dos 100 μT para o processo SER (CA) e 10 μT para o processo MIG/MAG (CC). A média e a mediana foram, respetivamente, para os metalúrgicos 0,50 μT e 0,18 μT e para os soldadores 7,22 μT e 4,70 μT . O valor máximo de exposição diária foi de 27,5 μT . A corrente de soldadura para ambos os processos estava situada entre 110 e 380 A. Foi ainda medido neste estudo o CME que registou, a 1 cm dos cabos de soldadura, valores de 0,9 a 1,9 mT para o processo MIG/MAG (CC). No processo SER (CA) não foram detetados CME.

(Man & Shahidan, 2007) realizaram um conjunto de medições ao nível da cintura e dinamizaram uma série de entrevistas no sentido de estimar a exposição a CM ao longo da vida de 56 soldadores. Destes profissionais 15 apresentam atividade contínua de soldador ao longo do dia, 40 com outras atividades além das de soldadura e 1 com atividades de soldadura muito pontuais. Foram excluídos 6 soldadores na fase de entrevista devido a não referirem com exatidão o ano em que iniciaram trabalhos de soldadura. As medições foram realizadas em 56 empresas, das 84 empresas contatadas, dispondo de vários tipos de máquinas de soldadura, das quais 23 para o processo MIG, 18 para o processo TIG e 7 para o processo SER. Os valores médios da densidade de fluxo magnético apresentam valores de aproximadamente 90 μT para o processo MIG, 110

μT para o processo TIG e $40 \mu\text{T}$ para o processo SER. A exposição ao longo da vida (*Lifetime Exposure* – LE) foi estimada através da expressão:

$$\text{LE} = B \cdot H \cdot D \cdot A \quad (\text{Equação 11})$$

onde B é a densidade de fluxo magnético expresso em μT , H é o número médio de horas/dia a realizar atividade de soldadura, D é o número de dias num ano em que são realizadas tarefas de soldadura e A é o número de anos em que são desenvolvidas as atividades de soldadura. Neste estudo concluíram que, apesar dos diferentes processos de soldadura analisados, a exposição ao longo da vida é, fundamentalmente, influenciada pela duração das tarefas de soldadura.

Também no estudo de (Yamaguchi-Sekino et al., 2011) foi avaliada a exposição em 5 empresas Japonesas durante o dia de trabalho de 17 soldadores e 5 profissionais cujas atividades são desenvolvidas no escritório. As medições foram efetuadas ao nível do pulso em intervalos de 5 segundos, ao longo de aproximadamente 8 horas. Os soldadores desenvolvem, na sua maioria, trabalhos de soldadura ao longo do dia, contudo integram ainda na sua atividade outras tarefas pontuais, tais como corte, polimento, furação e operações com gruas. Os CEM destes equipamentos foram também avaliados através do mesmo protocolo, concluindo-se que os CEM associados são bastante mais reduzidos que os envolvidos nos trabalhos de soldadura. As atividades no escritório estão associadas, principalmente, à utilização do computador como ferramenta de trabalho. Paralelamente, foi realizada uma análise de dosimetria considerando que a permeabilidade relativa dos tecidos assume o valor de 1. O modelo foi construído com uma resolução de 2 mm de com 37.500 elementos. O cabo de soldadura foi colocado a 6 – 20 mm do pulso. A corrente aplicada ao cabo foi de 15 A com a frequência de 300 Hz, o que resulta numa densidade de fluxo magnético de 2,71 mT neste elemento. Obtiveram para este modelo 1,49 mT de densidade de fluxo máxima e uma corrente de Foucault de $4,28 \text{ mA/m}^2$ ao nível dos músculos. Estes valores são bastante mais baixos que os limites para a estimulação elétrica dos nervos e músculos. A figura 26 representa a posição do equipamento de medição e o estudo da dosimetria ao nível do pulso.

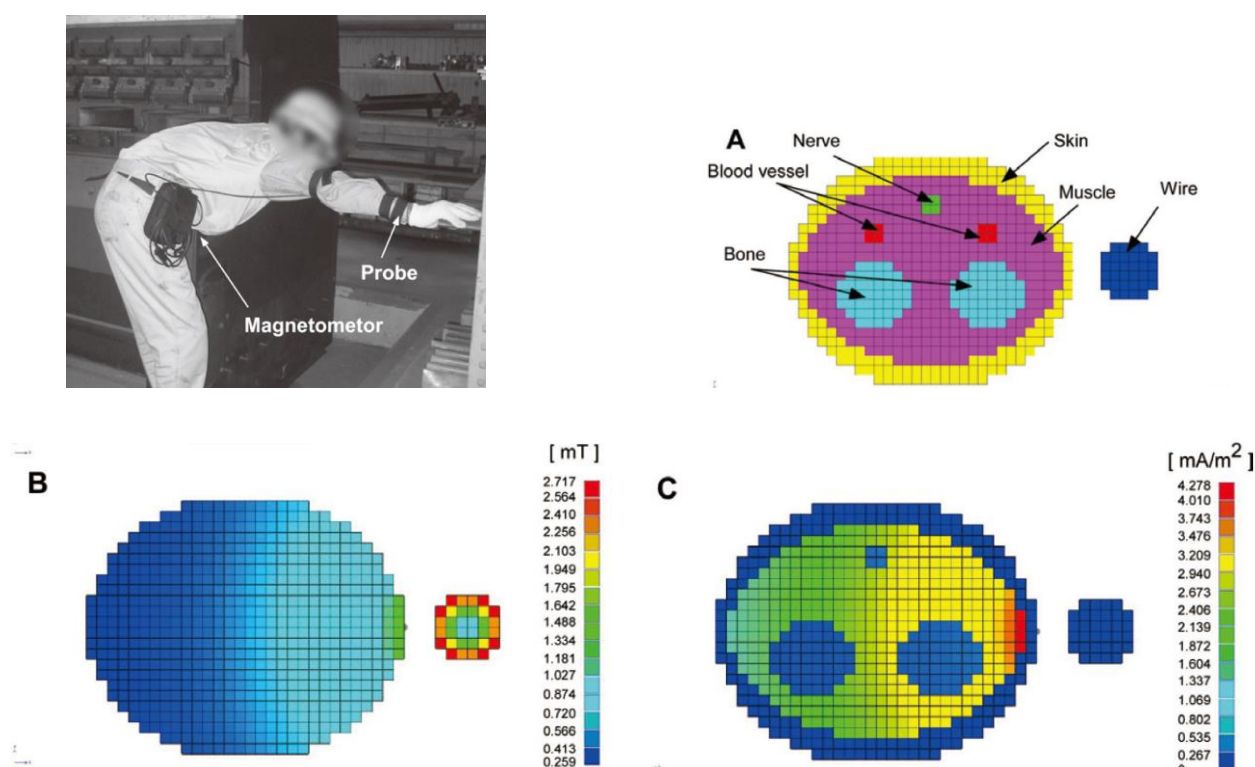


Figura 26 – Estudo da dosimetria ao nível do pulso (Yamaguchi-Sekino et al., 2011)

Ao nível da avaliação no local de trabalho os soldadores estão expostos a CEM entre 0,35 mT e 3,35 mT (valor médio \pm desvio padrão: $1,55 \pm 0,93$ mT). A exposição média diária assume valores entre 0,04 mT e 0,12 mT (valor médio \pm desvio padrão: $0,07 \pm 0,02$ mT). Estes valores de exposição são, expressivamente, superiores aos registados para os profissionais que executam as suas tarefas no escritório, que assumiu o valor máximo de 0,09 mT.

No seu trabalho (Grassi et al., 2012) desenvolveram uma simulação numérica da exposição a CEM para a soldadura TIG com alimentação por corrente de onda quadrada, com amplitude de 220 A e frequência de 200 Hz, de acordo com as indicações preconizadas pela norma EN 50444:2008 e estabeleceram a comparação dos resultados obtidos com as linhas orientadoras da ICNIRP publicadas em 1998 (ICNIRP, 1998) e com a mais recente publicação de 2010 (ICNIRP, 2010). O modelo anatómico utilizado apresenta as seguintes características: 38 anos de idade, altura de 176 cm, peso de 69 kg e resolução de $2,08 \times 2,08 \times 8,00$ mm. De uma forma geral, os níveis de referência das novas linhas orientadoras são mais permissivos. Os resultados obtidos mostraram um incumprimento dos limites segundo os valores referenciados na ICNIRP 1998 e um cumprimento global de acordo com as novas orientações de 2010. A figura 27 apresenta uma comparação gráfica dos níveis de referência das duas linhas de orientação.

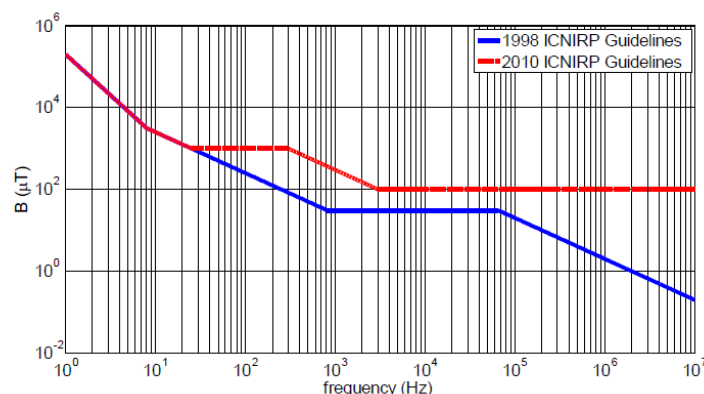


Figura 27 – Níveis de referência ICNIRP para exposição ocupacional (Grassi et al., 2012)

(Garrido & Dinis, 2014) avaliaram a exposição de trabalhadores de 3 empresas de diferentes setores de atividade na realização de processos de soldadura por arco elétrico e resistência. As medições foram realizadas em 6 posições e a diferentes distâncias da fonte. Ao nível da soldadura por arco elétrico, especificamente no processo MIG, as medições foram realizadas em 2 das 3 empresas. A empresa A é uma pequena empresa da área metalúrgica que tem dois soldadores, dos quais um realiza tarefas de soldadura durante 4 horas por dia e o outro durante 1 hora diária. O primeiro tem 24 anos de experiência e o segundo 10 anos. A empresa B apresenta uma estrutura média com 70 trabalhadores, dos quais 31 são soldadores. A empresa funciona em laboração contínua e os soldadores realizam tarefas diárias de soldadura durante 6 horas. A análise do histórico da empresa mostrou que dos soldadores em análise, 20 realizam tarefas de soldadura há 10 anos na empresa, 3 iniciaram tarefas de soldadura há 4 anos e 4 já eram soldadores quando integraram a empresa. Obtiveram, na empresa A, que possui duas máquinas ESAB MIG C280 com os seguintes parâmetros: Corrente: 140-175 A, diâmetro do fio: 0,8 mm, velocidade do fio: $9-10 \text{ m.min}^{-1}$, mistura gasosa: 98% argon e 2% CO₂ e comprimento dos cabos de soldadura: 3 m, 760,3 μT ao nível dos cabos e 496,0 μT na lateral da máquina de soldar com cabos, para uma distância de 1 cm da fonte e para a frequência de 0 Hz. Na empresa B, que dispõe de 11 máquinas ESAB 5004i com os seguintes parâmetros: Corrente: 265-285 A, diâmetro do fio: 1,2 mm, velocidade do fio: $10-12 \text{ m.min}^{-1}$, mistura gasosa: 75% argon e 25% CO₂ e comprimento dos cabos de soldadura: 5 m, o valor mais elevado foi também medido ao nível dos cabos, 761,7 μT, seguido na zona da cabeça com 635,5 μT, ambos à distância de 1 cm da fonte e para a frequência fundamental de 0 Hz. Os valores medidos neste estudo estão em

conformidade com os valores limite de exposição aplicáveis aos efeitos sensoriais e na saúde definidos para as densidades do fluxo magnético externo da Diretiva 2013/35/UE. No entanto, o nível de ação para a interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos, é ultrapassado ao nível dos cabos para todas as empresas analisadas.

(S. Marzec, 2012) no seu estudo realizado na Polónia estabeleceu a análise de conformidade de várias máquinas de soldadura com as normas e requisitos regulamentares. Estes requisitos impõem que áreas que estejam sob o efeito de CEM sejam divididas em duas zonas: zona de segurança, onde não existe qualquer restrição à presença do homem, e a zona de proteção, por sua vez dividida em zona intermédia, zona de risco e zona perigosa. O valor máximo da intensidade de campo magnético registou 370 – 380 A/m ao nível das mãos no processo TIG, para a máquina *Magic Vare MW300* com os parâmetros de soldadura: Corrente: 190 A, tensão: 20 – 30 V e frequência: 130 Hz. Não foi identificado qualquer risco para a saúde no presente estudo. O grau de risco é determinado pela componente magnética do CEM. Este estudo infere ainda que a radiação ótica emitida pela soldadura por arco elétrico apresenta um risco acrescido em comparação com as restantes analisadas no estudo.

No que concerne aos efeitos biológicos dos CEM associados à profissão de soldadores foram analisados estudos que estabelecem a sua relação com o cancro (Stern, 1987), tumores cerebrais (Wilkins JR & Wellage, 1996), parâmetros hematológicos e imunológicos (Dasdag et al., 2002), tumores das glândulas endócrinas (Håkansson et al., 2005) e efeitos citogenéticos (Dominici et al., 2011). A tabela 14 confere uma visão global dos principais resultados obtidos nos estudos referidos.

Tabela 14 – Resumo dos efeitos biológicos dos CEM na profissão de soldador

| Primeiro autor, ano | Variável de estudo | Objetivo do estudo | População | Principais resultados |
|------------------------------|---|---|--|--|
| (Stern, 1987) | Cancro | Avaliar a incidência de cancro entre os soldadores e a possível associação com a exposição a CEM e a fumos de soldadura | Não aplicável | Não foi registado aumento de risco para todos os tipos de leucemia. |
| (Wilkins JR & Wellage, 1996) | Tumores cerebrais | Avaliar a possível relação entre a exposição ocupacional masculina a CEM e o risco de tumores cerebrais na infância dos seus descendentes | 94 casos-referência e 166 casos combinados individualmente para os quais os dados sobre os pais biológicos estavam disponíveis. A exposição paternal a CEM foi deduzida a partir de uma lista de títulos de trabalho compilados para esse fim. | Os resultados sugerem pequenos aumentos no risco para as profissões associados à exposição a CEM dos pais durante o período de um ano antes da concepção. Os valores do OR ³⁷ variando entre 1,12 e 1,31. Os valores foram notavelmente elevados para os pais com a profissão de soldador até um ano antes da concepção (OR 3,8, 95% [IC]: 0,95-15,55). |
| (Dasdag et al., 2002) | Parâmetros hematológicos e imunológicos | Avaliar os efeitos dos CEM emitidos pela soldadura por arco elétrico nos parâmetros hematológicos e imunológicos dos soldadores | 16 soldadores masculinos e 14 homens saudáveis entre 20 e 40 anos de idade da mesma área geográfica e com estilos de vida semelhantes | O CM registou valores de 100 – 250 μ T medido a 1 m da máquina de soldadura. Não houve diferença significativa entre os indivíduos do grupo controlo e os expostos em termos de parâmetros hematológicos em estudo, exceto para o hematócrito. O hematócrito dos soldadores registou um valor mais elevado do que o grupo de controlo. As comparações entre o grupos controlo e os expostos não revelou qualquer efeito dos campos magnéticos de 50 Hz sobre os subtipos de linfócitos CD3, CD4/CD8. Por outro lado, os subtipos CD4 e CD8 registaram valores mais baixos nos soldadores do que no grupo controlo. |

³⁷ Mantel-Haenszel Odds Ratio

Continuação da tabela 14 – Resumo dos efeitos biológicos dos CEM na profissão de soldador

| Primeiro autor, ano | Variável de estudo | Objetivo do estudo | População | Principais resultados |
|--------------------------|----------------------------------|--|---|---|
| (Håkansson et al., 2005) | Tumores das glândulas endócrinas | Avaliar a relação entre a exposição ocupacional a CEM em soldadores (arco elétrico e por resistência) e os tumores da glândula endócrina | 174 casos de tumores da glândula endócrina foram identificados no período 1985-94 dos quais foram obtidos dados de 140. O grupo de controle integrou 1692 casos dos quais foram registados dados de 1306. | Medições aleatórias em 13 soldadores registaram uma exposição média por turno de trabalho de 1,90 μ T e um valor médio máximo de 142 μ T. O estudo mostrou um aumento de risco de duas vezes para o desenvolvimento de tumores das glândulas endócrinas para os soldadores por arco elétrico e por resistência. |
| (Dominici et al., 2011) | Efeitos citogenéticos | Investigar o risco genotóxico da exposição ocupacional a CEM | 21 soldadores integrados em 2 empresas da área metalúrgica com uma exposição significativa a CEM de 50 Hz. O grupo de controle é composto por 21 dadores de sangue sem exposição a CEM. | A exposição média diária foi para a empresa A de 10,69 μ T e de 3,97 μ T para a empresa B. O grupo evidenciou um aumento de frequência dos micronúcleos (MN) e uma redução na frequência da <i>sister chromatid exchange</i> . Devido ao aumento do parâmetro associado aos MN é inferido um potencial risco de desenvolvimento de cancro nos trabalhadores expostos a CEM. |

Os desfibrilhadores-cardioversores implantáveis (DCI) reduzem a mortalidade em pacientes com arritmias ventriculares malignas. No entanto podem ter um impacto negativo ao nível da qualidade de vida do paciente. Um dos fatores mais importantes que influenciam a qualidade de vida após uma intervenção médica com implante de um DCI é a capacidade de voltar ao trabalho. Os pacientes são frequentemente aconselhados a deixar empregos em ambientes industriais devido ao potencial efeito dos campos magnéticos existentes e que podem interferir com o funcionamento normal do dispositivo (Gurevitz et al., 2003).

(Fetter et al., 1996) desenvolveram um estudo para avaliar a suscetibilidade de DCI à interferência de CEM em ambiente eletricamente adverso, nomeadamente perto de motores e em processos de soldadura. Foram avaliados 11 pacientes do sexo masculino com uma média de idade e um desvio padrão de $53 \pm 11,7$ anos. Os processos de soldadura por arco elétrico apresentaram correntes entre 2 a 900 A (CA e CC). Este estudo concluiu que os CEM gerados pelas máquinas de soldadura e motores não interferem com o funcionamento normal dos DCI ensaiados. Todos os pacientes conseguiram desenvolver as suas atividades profissionais sem qualquer limitação. Estes resultados foram corroborados pelos obtidos por (Gurevitz et al., 2003) no seu trabalho de investigação.

(Tiikkaja et al., 2013) desenvolveram um estudo idêntico aos anteriores incluindo ainda a suscetibilidade dos *pacemakers* à influência dos CEM. Os *pacemaker* bipolares e os DCI não sofreram qualquer interferência com os CEM a que estiveram sujeitos, confirmando assim os resultados de Fetter e Gurevitz. No entanto, um paciente com um implante de um *pacemaker* unipolar manifestou uma sensação de peso ao nível do peito após dois períodos de exposição a uma densidade de fluxo magnético de 100 e 130 μ T. As configurações unipolares podem resultar em situações de risco de vida em ambientes com CEM e portanto devem ser evitados sempre que possível.

2.2 Enquadramento Legal e Normativo

2.2.1 Orientação das organizações internacionais

Os potenciais efeitos para a saúde humana da exposição a diferentes campos elétricos e magnéticos necessitam de um claro e sustentado esclarecimento científico. Os CEM, nas suas várias frequências, representam uma das influências ambientais mais comuns e de mais rápido crescimento e, por conseguinte, criam um efeito crescente de especulação e ansiedade. Esta exposição ocorre em diferentes graus em todas as populações do mundo, e os níveis continuarão a aumentar com o avanço tecnológico. Assim, mesmo uma pequena consequência da exposição a CEM para a saúde poderia ter um grande impacto na saúde pública mundial³⁸.

No espaço de vinte anos foram desenvolvidas mais de uma centena de actividades deste tipo. As mais recentes são as da Organização Mundial de Saúde (OMS), em Genebra, do *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), da *International Agency for Research on Cancer* (IARC), do *National Institute of Environmental Health Sciences* (NIEHS), nos Estados Unidos e do *National Radiological Protection Board* (NRPB), no Reino Unido (Paulo Liberato, 2008).

World Health Organization (WHO)

O objectivo da Organização Mundial da Saúde fundada em 07 de abril de 1948, é a aquisição, por todos os povos, do nível de saúde mais elevado que for possível³⁹.

A OMS assume a direção e coordenação da saúde dentro do sistema das Nações Unidas, e é responsável por liderar as questões de saúde global, desenvolvendo pesquisas estruturadas, estabelecer normas e padrões, articulando opções políticas baseadas em evidências, fornecer apoio técnico aos países e monitorizar e avaliar as tendências da saúde⁴⁰.

Em resposta à preocupação pública generalizada sobre os efeitos da exposição a CEM na saúde, a OMS estabeleceu em 1996 o *International EMF Project* que pretende avaliar os efeitos na saúde da exposição a campos elétricos e magnéticos estáticos e variáveis no tempo na gama de frequências de 0 a 300 GHz. Este projeto incentiva a pesquisa focada para preencher lacunas importantes no conhecimento e facilitar o desenvolvimento de padrões aceitáveis internacionalmente para limitar a exposição a CEM. As publicações fundamentais da OMS para o estudo dos efeitos dos CEM na saúde humana são apresentadas de seguida:

- *Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields*, 2002
- *Environmental Health Criteria 232 - Static Fields*, 2005
- *Environmental Health Criteria 238 - Extremely Low Frequency Fields*, 2007

Na monografia *Environmental Health Criteria 238 - Extremely Low Frequency Fields*, publicada no âmbito do *International EMF Project*, a OMS refere que a energia elétrica apresenta óbvios benefícios na saúde, na sociedade e a nível económico, que não devem ser comprometidos pelas medidas preventivas. Além disso, e considerando quer a fraqueza da evidência entre a exposição a CM - FEB e a leucemia infantil, quer o limitado impacto sobre a saúde pública, se existir, os benefícios da redução da exposição dos CEM para a saúde não são claros. Por conseguinte, os

³⁸ *International EMF Project*. Acesso em 10.05.2014: http://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/en/

³⁹ Constituição da *World Health Organization* em 22 de julho de 1946 em Nova Iorque: Acesso ao documento em 10.05.2014 na ligação: <http://www.who.int/library/collections/historical/en/>

⁴⁰ *World Health Organization*. Acesso em 10.05.2014 na ligação: www.who.int/

custos das medidas de prevenção deverão ser muito baixos. A OMS não recomenda que os valores limite nos guias de exposição se reduzam a qualquer nível arbitrário em nome da precaução, uma vez que esta prática prejudica o fundamento científico sobre o qual os limites são baseados, e é provável que seja uma maneira dispendiosa, e não necessariamente eficaz, de fornecer proteção. Neste documento são elencadas as seguintes recomendações (World Health Organization, 2007):

- Os governantes devem estabelecer guias para a exposição aos campos eletromagnéticos de baixa frequência tanto para o público em geral, como para os trabalhadores. A melhor fonte de orientação, tanto para os níveis de exposição como para os princípios de avaliação científica, são os guias internacionais;
- Os governantes devem estabelecer um programa de proteção contra os CEM-FEB que inclua medições dos campos em todas as fontes, de modo a garantir que os limites de exposição não sejam excedidos tanto para o público em geral, como para os trabalhadores;
- É razoável e autoriza-se a implementação de procedimentos preventivos de muito baixo custo para reduzir a exposição a CEM, não sendo colocados em causa os benefícios da energia elétrica tanto para a saúde como a nível social e económico;
- Os governantes, os responsáveis pelo planeamento territorial e os fabricantes devem implementar medidas de muito baixo custo ao construírem novas instalações e ao projetarem novos equipamentos, inclusivamente eletrodomésticos;
- Devem ser consideradas mudanças nas práticas de engenharia para reduzir a exposição aos CEM-FEB gerados por equipamentos e dispositivos, desde que elas prestem benefícios adicionais, como por exemplo maior segurança, ou que tenham associado custos reduzido ou nulo;
- Quando se considerarem alterações nas fontes existentes de radiação eletromagnética, a redução dos CEM-FEB deve ser considerada em simultâneo com os aspectos de segurança, fiabilidade e economia;
- As autoridades locais devem reforçar os regulamentos relacionados com a instalação dos cabos de energia elétrica, de forma a reduzir as correntes de circulação à terra, tanto na construção de novas instalações como na colocação de novas cablagens elétricas nas já existentes;
- As autoridades nacionais devem realizar uma estratégia eficaz e aberta de comunicação para permitir tomadas de decisão informadas e sustentadas por todas as partes interessadas. Isto deve incluir informação sobre como podem os indivíduos reduzir a sua própria exposição.
- As autoridades locais devem melhorar a planificação de instalações emissoras de CEM-FEB, incluindo uma melhor consulta entre a indústria, o governo local e os cidadãos ao localizarem as fontes principais dessas emissões;
- O Governo e a indústria devem promover programas de investigação para reduzir a incerteza das provas científicas dos efeitos sobre a saúde da exposição aos CEM-FEB.

International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

O objetivo da Comissão Internacional de Proteção Contra as Radiações Não Ionizantes é proporcionar à população em geral informações e orientações sobre os potenciais riscos para a saúde da exposição às radiações não ionizantes. A ICNIRP é um organismo sem fins lucrativos, que desenvolve a sua atividade em estreita colaboração com várias agências de proteção da saúde, nomeadamente com a OMS. As linhas de orientação abrangem todas as radiações não ionizantes, incluindo as radiações óticas, campos elétricos e magnéticos estáticos e variáveis no tempo, radiofrequência e ultrassons. Grande parte da informação fornecida pela ICNIRP é publicada na forma de comentários e relatórios científicos que são combinadas com avaliações

de risco realizadas em colaboração com a OMS, originando as linhas de orientação para os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos⁴¹. As publicações mais relevantes da ICNIRP para o estudo dos efeitos dos CEM na saúde humana são apresentadas de seguida:

- *Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health*, 2001
- *Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*, 2009
- *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying EMF (1 Hz - 100 kHz)*, 2010

Na publicação *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)* são estabelecidas as linhas de orientação com vista a limitar a exposição a CEM com o objetivo de proteger a população contra todos os efeitos adversos comprovados para a saúde. A ICNIRP estabelece diferenças ao nível da exposição ocupacional e da exposição do público em geral. Neste documento a exposição ocupacional refere-se a adultos expostos, nos seus locais de trabalho, a campos elétricos e magnéticos, variáveis ao longo do tempo, entre 1 Hz e 10 MHz, normalmente sob condições conhecidas, e em resultado da execução das suas tarefas e funções profissionais habituais. Em contraste, a população em geral, refere-se às pessoas de todas as idades e com um estado de saúde variado, que desta forma aumenta a variabilidade das suscetibilidades individuais. Em muitos casos, o público em geral não está ciente da sua exposição a CEM. Estas considerações sublinham a necessidade da adoção de limites de exposição mais exigentes para o público em geral em comparação com os trabalhadores quando estão expostos num enquadramento profissional (ICNIRP, 2010).

Os limites de exposição que se baseiam nas grandezas físicas diretamente relacionadas com os efeitos estabelecidos sobre a saúde são designados limitações básicas (LB). Na última publicação do ICNIRP orientada aos CEM-FEB, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)*, a grandeza física utilizada para especificar a limitação básica à exposição a CEM é a intensidade do campo elétrico interno E_i , uma vez que é o campo elétrico que afeta as células nervosas e outras células eletricamente sensíveis. A intensidade do campo elétrico interno é difícil de avaliar, portanto, para o efeito prático de avaliação da exposição, são fornecidos **níveis de referência (NR) de exposição**. A maior parte dos níveis de referência resulta das limitações básicas aplicáveis utilizando técnicas de medição e/ou modelação matemática, no entanto alguns envolvem a perceção (campo elétrico) e efeitos adversos indiretos da exposição a CEM. As grandezas resultantes são a intensidade do campo elétrico (E), a intensidade do campo magnético (H), a densidade do fluxo magnético (B) e as correntes que circulam através dos membros (I_L). A grandeza que trata os efeitos indiretos é a corrente de contacto (I_C) (ICNIRP, 2010).

Em qualquer situação particular de exposição, os valores medidos ou calculados de qualquer uma destas grandezas podem ser comparados com o NR adequado. **O cumprimento do NR irá garantir o cumprimento da LB em causa. Se o valor medido ou calculado ultrapassar o NR, não se infere daí necessariamente que a LB será ultrapassada. No entanto, sempre que um NR é ultrapassado é necessário testar o cumprimento da LB aplicável e apurar se é necessário tomar medidas adicionais de proteção.**

A tabela 15 e a figura 28 representam as limitações básicas para o público em geral e para a exposição ocupacional ao nível da intensidade do campo elétrico interno relativamente aos efeitos sobre o sistema nervoso central (SNC) e o sistema nervoso periférico (SNP) para CEM variáveis no tempo (1 Hz – 100 kHz). Os riscos principais têm origem na resposta transitória do sistema nervoso (SN), incluindo a estimulação do SNP e do SNC, a indução de fosfenos na retina e possíveis efeitos sobre alguns aspetos da atividade cerebral.

⁴¹ *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection*. Acesso em 10.05.2014: <http://www.icnirp.de>

Tabela 15 – Limitações básicas para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010)

| Caraterísticas da exposição | Gama de frequências | Campo elétrico interno (E) [V.m ⁻¹] |
|---------------------------------------|---------------------|---|
| Exposição ocupacional | | |
| Tecido do SNC da cabeça | 1 – 10 Hz | 0,5/f |
| | 10 Hz – 25 Hz | 0,05 |
| | 25 Hz – 400 Hz | $2 \times 10^{-3} \cdot f$ |
| | 400 Hz – 3 kHz | 0,8 |
| | 3 kHz – 10 MHz | $2,7 \times 10^{-4} \cdot f$ |
| Todos os tecidos da cabeça e do corpo | 1 Hz – 3 kHz | 0,8 |
| | 3 kHz – 10 MHz | $2,7 \times 10^{-4} \cdot f$ |
| Exposição do público em geral | | |
| Tecido do SNC da cabeça | 1 – 10 Hz | 0,1/f |
| | 10 Hz – 25 Hz | 0,01 |
| | 25 Hz – 1000 Hz | $4 \times 10^{-4} \cdot f$ |
| | 1000 Hz – 3 kHz | 0,4 |
| | 3 kHz – 10 MHz | $1,35 \times 10^{-4} \cdot f$ |
| Todos os tecidos da cabeça e do corpo | 1 Hz – 3 kHz | 0,4 |
| | 3 kHz – 10 MHz | $1,35 \times 10^{-4} \cdot f$ |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- Todos os valores são RMS⁴².
- Na gama de frequências > 100 kHz, as restrições básicas específicas de RF têm de ser adicionalmente consideradas.

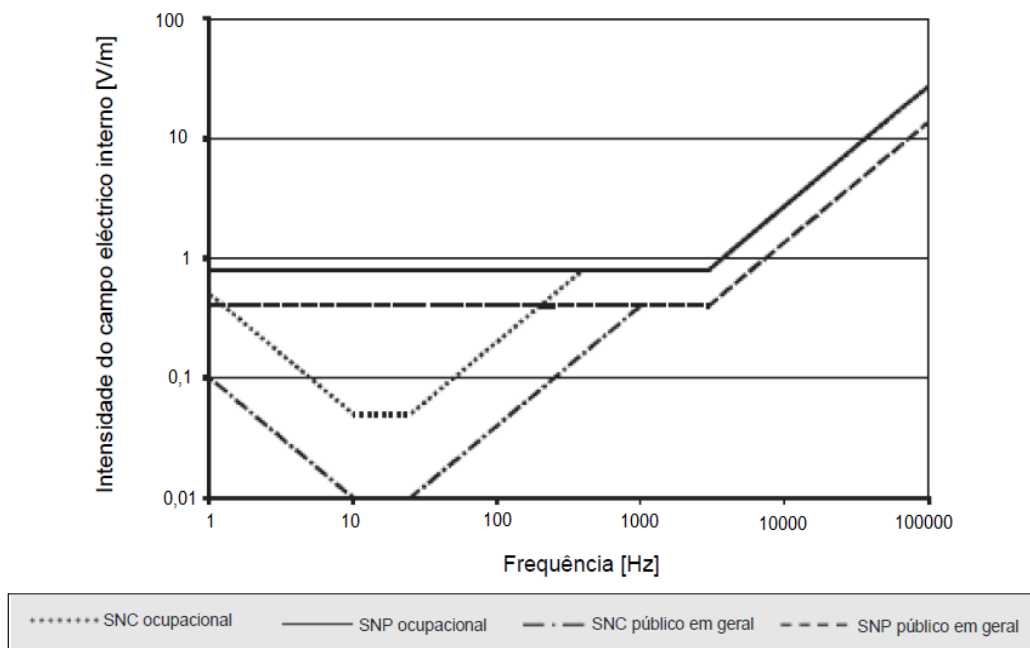


Figura 28 – Limitações básicas para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010)

Na gama de frequências de 10 Hz a 25 Hz a exposição ocupacional deverá ser limitada aos campos que induzem intensidades de campos elétricos no tecido do SNC na cabeça (ou seja, no cérebro e na retina) inferiores a 50 mV.m^{-1} de forma a evitar a indução de fosfenos na retina.

⁴² RMS – Root Mean Square (Valor eficaz ou valor médio quadrático)

Estas limitações devem ainda evitar quaisquer possíveis efeitos temporários sobre a função cerebral. Estes efeitos não são considerados adversos para a saúde, no entanto a ICNIRP reconhece que podem ser perturbadores em algumas circunstâncias profissionais e devem, por isso, ser evitados, não sendo aplicado nenhum fator adicional de redução. Os limiares para a indução de fosfenos aumentam rapidamente em frequências mais elevadas e mais baixas, cruzando-se com os limiares para a estimulação das fibras nervosas mielínicas do sistema nervoso central e periférico a 400 Hz. Em frequências acima dos 400 Hz, os limites sobre a estimulação dos nervos periféricos aplicam-se em todas as zonas do corpo (ICNIRP, 2010).

A exposição em ambientes controlados, nos quais os trabalhadores são informados sobre a possibilidade de verificação de efeitos transitórios dessa mesma exposição, deverá ser limitada aos CEM que induzem campos elétricos na cabeça e no corpo inferiores a 800 mV.m^{-1} , de forma a evitar estimulação das fibras nervosas mielínicas do sistema nervoso central e periférico. Foi aplicado um fator de redução de 5 ao limite da indução de fosfenos de 4 V.m^{-1} . Estas limitações aumentam acima dos 3 kHz. Para o tecido do SNC da cabeça no público em geral é aplicado um fator de redução de 5, o que resulta numa limitação básica de 10 mV.m^{-1} entre 10 e 25 Hz. Acima e abaixo destes valores, as limitações básicas aumentam. A 1 kHz cruza-se com as limitações básicas que protegem contra a estimulação das fibras nervosas mielínicas do sistema nervoso central e periférico. Aqui, o fator de redução de 10 origina uma limitação básica de 400 mV.m^{-1} , que deverá ser aplicada aos tecidos de todas as partes do corpo (ICNIRP, 2010).

Os NR são calculados para uma situação de acoplamento máximo do campo ao indivíduo exposto, proporcionando deste modo uma proteção máxima (ICNIRP, 2010).

Os NR apresentados pela ICNIRP na publicação *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)* têm em conta dois efeitos distintos e aproximam uma combinação dos campos elétricos induzidos no cérebro, relevante para efeitos no SNC, e os campos elétricos induzidos em tecidos não pertencentes ao SNC em qualquer parte do corpo, relevante para efeitos no SNP. A tabela 16 representa os NR para a exposição ocupacional e do público em geral a CEM variáveis ao longo do tempo e a figura 29 ilustra os NR para a exposição a CE e a CM variáveis ao longo do tempo.

Tabela 16 – Níveis de referência para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010)

| Gama de frequências | Intensidade do campo elétrico (E) [kV.m^{-1}] | Intensidade do campo magnético (H) [A.m^{-1}] | Densidade do fluxo magnético (B) [T] |
|--------------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Exposição ocupacional | | | |
| 1 – 8 Hz | 20 | $1,63 \times 10^5 / f^2$ | $0,2 / f^2$ |
| 8 Hz – 25 Hz | 20 | $2 \times 10^4 / f$ | $2,5 \times 10^{-2} / f$ |
| 25 Hz – 300 Hz | $5 \times 10^2 / f$ | 8×10^2 | 1×10^{-3} |
| 300 Hz – 3 kHz | $5 \times 10^2 / f$ | $2,4 \times 10^5 / f$ | $0,3 / f$ |
| 3 kHz – 10 MHz | $1,7 \times 10^{-1}$ | 80 | 1×10^{-4} |
| Exposição do público em geral | | | |
| 1 – 8 Hz | 5 | $3,2 \times 10^4 / f^2$ | $4 \times 10^{-2} / f^2$ |
| 8 Hz – 25 Hz | 5 | $4 \times 10^3 / f$ | $5 \times 10^{-3} / f$ |
| 25 Hz – 50 Hz | 5 | $1,6 \times 10^2$ | 2×10^{-4} |
| 50 Hz – 400 kHz | $2,5 \times 10^2 / f$ | $1,6 \times 10^2$ | 2×10^{-4} |
| 400 Hz – 3 kHz | $2,5 \times 10^2 / f$ | $6,4 \times 10^4 / f$ | $8 \times 10^{-2} / f$ |
| 3 kHz – 10 MHz | $8,3 \times 10^{-2}$ | 21 | $2,7 \times 10^{-5}$ |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- Todos os valores são RMS.
- A exposição não sinusoidal e a exposição a frequências múltiplas não estão consideradas nesta tabela.
- Na gama de frequências > 100 kHz, os níveis de referência específicos de RF têm de ser adicionalmente considerados.

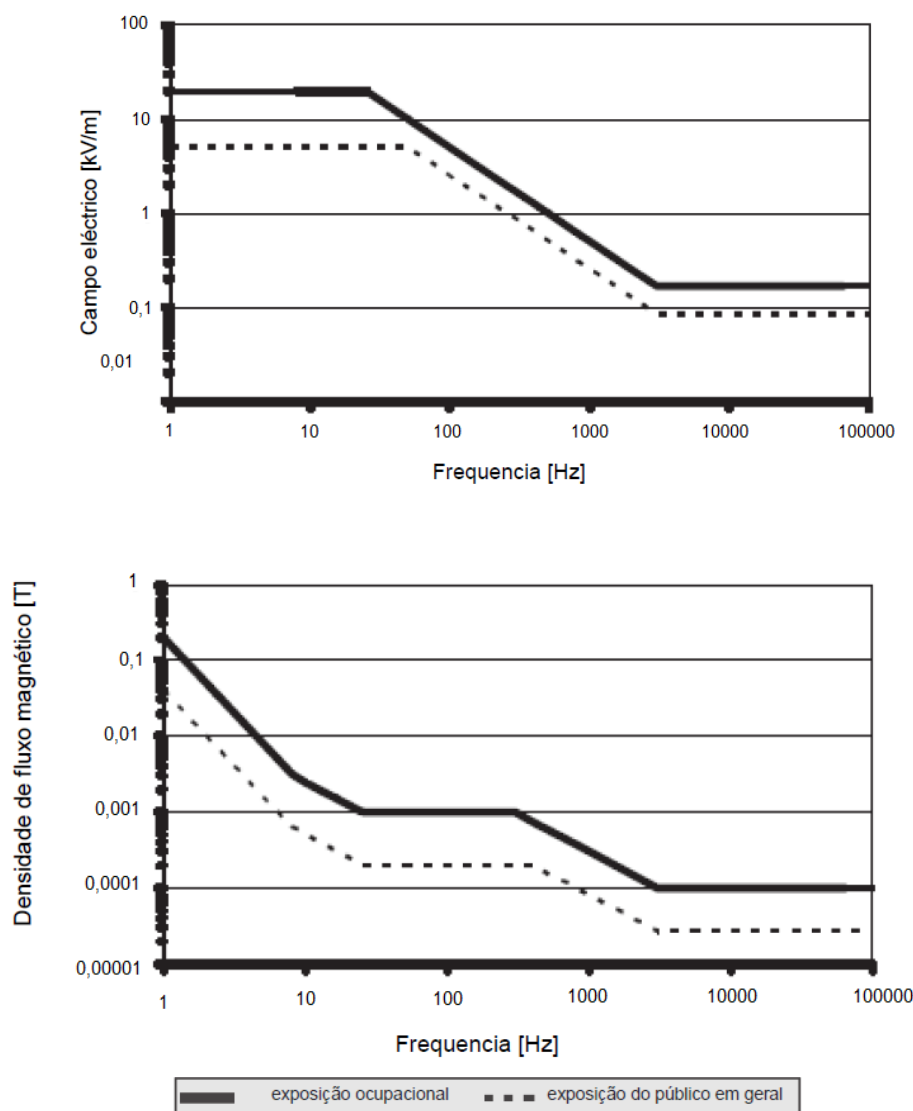


Figura 29 – Níveis de referência para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz (ICNIRP, 2010)

Os NR apresentados assumem uma exposição para um campo uniforme (homogêneo) relativamente à extensão espacial do corpo humano. No entanto, na maior parte dos casos, a distância até à fonte é tão reduzida que a distribuição do campo é não uniforme ou localizada numa pequena parte do corpo. Nesses casos, a medida da intensidade máxima do campo na posição espacial ocupada pelo corpo resulta sempre numa avaliação da exposição segura, apesar de muito conservadora. Para uma fonte muito localizada a uma distância de poucos centímetros do corpo, a única opção realista para a avaliação da exposição é determinar através de um dosímetro o campo elétrico induzido, caso a caso. Quando a distância ultrapassa os 20 cm, a distribuição do campo torna-se menos localizada mas continua a ser não uniforme, caso em que é possível determinar a média espacial ao longo do corpo ou parte do mesmo. A média espacial não deverá ultrapassar o nível de referência. A exposição local pode ultrapassar o nível de referência mas a limitação básica não poderá ser ultrapassada (ICNIRP, 2010).

Cada um dos campos, elétrico e magnético, induz uma componente no tecido, as quais se somam vectorialmente. No caso da análise da exposição baseada nos campos elétricos e magnéticos externos, uma abordagem conservadora seria assumir que tanto as componentes do campo elétrico como do campo magnético induzidos atingem o valor máximo no mesmo ponto crítico e em fase. Isto implicaria que as exposições seriam cumulativas. Pensa-se, no entanto, que estas situações, são muito pouco frequentes tendo em conta a grande diferença na distribuição dos campos (ICNIRP, 2010).

Um aspeto fundamental a considerar é a exposição simultânea a campos de frequências múltiplas, onde é essencial determinar se estas exposições são cumulativas em termos de efeitos. As equações 7, 8 e 9 aplicam-se a situações de exposição a várias frequências. No que respeita à estimulação elétrica, relevante para frequências até 10 MHz, os campos elétricos internos devem ser adicionados de acordo com a equação 7 (ICNIRP, 2010):

$$\sum_{j=1}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_{i,j}}{E_{L,j}} \leq 1 \quad (\text{Equação 8})$$

onde:

$E_{i,j}$ é a intensidade do campo elétrico interno induzida à frequência j

$E_{L,j}$ corresponde à restrição da intensidade do campo elétrico induzido à frequência j de acordo com a tabela 15 – Limitações básicas para CEM variáveis no tempo 1 Hz-100 kHz

Para a aplicação prática das limitações básicas, devem aplicar-se as equações 8 e 9 relativas aos níveis de referência das intensidades dos campos (ICNIRP, 2010):

$$\sum_{j=1}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_{i,j}}{E_{R,j}} \leq 1 \quad (\text{Equação 9})$$

$$\sum_{j=1}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_{i,j}}{H_{R,j}} \leq 1 \quad (\text{Equação 10})$$

onde:

$E_{i,j}$ é a intensidade do campo elétrico à frequência j

$H_{i,j}$ é a intensidade do campo magnético à frequência j

$E_{R,j}$ nível de referência da intensidade do campo elétrico à frequência j (tabela 16)

$H_{R,j}$ nível de referência da intensidade do campo magnético à frequência j (tabela 16)

Em frequências baixas, inferiores a 100 kHz, os campos elétricos e, sobretudo, os magnéticos são, na maioria dos casos, distorcidos por componentes harmónicas distribuídas ao longo de uma banda de frequência ampla. Consequentemente, as formas de onda dos campos mostram padrões complexos e constituídos, muitas vezes, por impulsos. É sempre possível decompor um campo desse tipo em componentes espectrais discretas através, por exemplo, da transformada de *Fourier* e da aplicação da regra de frequência múltipla acima descrita. Este procedimento baseia-se na suposição de que as componentes espectrais se somam em fase, ou seja, todos os máximos coincidem ao mesmo tempo o que resulta num pico pronunciado. Trata-se de uma suposição realista quando o número de componentes espectrais é limitado e as suas fases não são coerentes, ou seja, variam aleatoriamente. No caso de fases coerentes fixas, a suposição poderá ser demasiado conservadora. Além disso, a amostragem e filtragem na análise espectral pela transformada de *Fourier* poderá criar frequências espúrias, o que poderá aumentar, de forma artificial, o rácio de exposição obtido por soma linear (ICNIRP, 2010).

O rápido desenvolvimento de novas tecnologias que utilizam campos magnéticos estáticos na indústria e na medicina, resultou num aumento generalizado da exposição humana a estas radiações e originou uma série de estudos científicos sobre os seus possíveis efeitos sobre a saúde (ICNIRP, 2009). Na publicação *Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields* são apresentados os limites de exposição ao nível ocupacional e do público em geral ao nível dos CME. Estas orientações não se aplicam à exposição dos pacientes submetidos a diagnósticos ou tratamentos médicos.

Como referido anteriormente, o campo magnético estático natural da Terra, dependendo da localização geográfica, pode variar entre 30 a 70 μT . As linhas de transmissão HVDC produzem densidades de fluxo magnético da ordem dos 20 μT . Os comboios de levitação magnética e os comboios convencionais apresentam valores da ordem dos 100 μT nas carruagens dos

passageiros, podendo, ao nível do chão devido à presença de elementos indutivos, atingir valores da ordem dos mT. Outras fontes de CME em ambientes residenciais e ocupacionais são os pequenos ímanes permanentes que geram campos localizados da ordem dos 0,5 mT (ICNIRP, 2009).

A exposição mais elevada num contexto não ocupacional ocorre na realização dos exames de diagnóstico por ressonância magnética (RM). A RM é uma técnica utilizada para obter informações de diagnóstico ao nível corporal e cada vez mais utilizada para orientar intervenções cirúrgicas dentro do corpo. Em procedimentos de RM, a densidade de fluxo magnético varia entre 0,15 e 3T e a exposição é, em geral, limitada a menos de 1 hora, contudo, em casos específicos, poderá apresentar algumas horas de duração. As cirurgias assistidas em tempo real por meios de RM estão a assumir cada vez mais expressão, originando que os profissionais de saúde permaneçam em ambientes com elevada exposição a CME durante um período tempo considerável (ICNIRP, 2009). A tabela 17 apresenta os valores limite de exposição a CME para o público em geral e ao nível ocupacional.

Tabela 17 – Limites de exposição^a a CME (ICNIRP, 2009)

| Características da exposição | Densidade do fluxo magnético (B) [T] |
|--|--------------------------------------|
| Exposição ocupacional^b | |
| Exposição da cabeça e do tronco | 2 |
| Exposição dos membros ^c | 8 |
| Exposição do público em geral^d | |
| Exposição de qualquer parte do corpo | 0,4 |

Considerações:

^a A ICNIRP recomenda que estes limites sejam vistos operacionalmente como limites de exposição de pico.

^b Para aplicações específicas de trabalho pode ser justificada a exposição até 8 T, se o ambiente for controlado e forem utilizadas as técnicas de trabalho adequadas para controlar os efeitos induzidos pelo movimento num CME.

^c A informação atual é insuficiente para fundamentar a exposição a níveis superiores a 8T.

^d Devido a potenciais efeitos adversos indiretos, a ICNIRP reconhece que devem ser implementadas orientações para evitar uma exposição inadvertida de pessoas com implantes médicos contendo materiais ferromagnético e evitar os riscos de projeção de objetos.

As entidades de segurança devem garantir que são implementadas as restrições necessárias para assegurar a proteção de pessoas que utilizam implantes médicos ativos sensíveis a campos magnéticos. As interferências eletromagnéticas com origem em CME de baixa intensidade afetam o funcionamento de *pacemakers*, principalmente os que utilizam interruptores magnéticos, além de outros equipamentos médicos, incluindo desfibriladores cardíacos, *hormone infusion pumps*, utilizada por exemplo para a insulina, dispositivos de estimulação muscular, neuroestimuladores e próteses eletrónicas, por exemplo para os membros ou para o ouvido interno (ICNIRP, 2009).

International Agency for Research on Cancer (IARC)

A Agência Internacional para Pesquisa sobre Cancro é um organismo especializado da *World Health Organization* que assume como principal objetivo promover a colaboração internacional na pesquisa do cancro. A IARC apresenta um cariz interdisciplinar, reunindo competências em epidemiologia, ciências laboratoriais e bioestatística para identificar as causas do cancro, com o objetivo de desenvolver estratégias eficazes para o seu controlo. Uma característica a sublinhar é a sua experiência na coordenação de investigações em todos os países e organizações. O seu papel independente como uma organização internacional facilita esta importante atividade⁴³.

⁴³ International Agency for Research on Cancer. Acesso em 17.05.2014: <http://www.iarc.fr>

A tabela 18 apresenta a classificação da IARC em quatro categorias para o potencial cancerígeno de agentes químicos e físicos. Esta classificação é utilizada nas monografias publicadas sobre os diferentes agentes

Tabela 18 – Classificação do potencial cancerígeno de agentes químicos e físicos pela IARC

| Grupo ⁴⁴ | Classificação | Número de agentes classificados | Exemplos ⁴⁵ |
|---------------------|--|---------------------------------|---|
| 1 | Cancerígeno para os seres humanos | 113 | Radiação ionizante (todos os tipos), Radiação ultravioleta (comprimentos de onda 100 – 400 nm) , Amianto, Tabaco |
| 2A | Provavelmente cancerígeno para os seres humanos | 66 | Fabricação de eletrodos de carbono, Trabalho por turnos que envolve perturbação circadiano |
| 2B | Possivelmente cancerígeno para os seres humanos | 285 | Café ⁴⁶ , Fumos de soldadura , Campos magnéticos de FEB , Campos eletromagnéticos na gama das RF |
| 3 | Não classificável quanto à sua carcinogenicidade para os seres humanos | 505 | Cafeína, Campos elétricos de FEB , Campos elétricos estáticos , Campos magnéticos estáticos |
| 4 | Provavelmente não cancerígeno para os seres humanos | 1 | Caprolactama ⁴⁷ |

A IARC classifica os CM-FEB no grupo 2B, o que significa que são possivelmente cancerígenos para os seres humanos. Esta categoria é atribuída a agentes, misturas e circunstâncias de exposição para os quais há evidências limitadas de carcinogenicidade em humanos e evidências insuficientes em estudos experimentais em animais. Em alguns casos, um agente, mistura ou circunstância de exposição para o qual há evidência inadequada de carcinogenicidade em seres humanos, mas existem evidências limitadas de carcinogenicidade em animais experimentais, acompanhado de elementos comprovativos de outros dados relevantes pode ser colocados neste grupo. Relativamente, aos CE-FEB e aos CME (campos elétricos estáticos e campos magnéticos estáticos) são incluídos no grupo 3 o que indica que não são classificáveis quanto à sua carcinogenicidade para os seres humanos. Esta categoria é usada para os agentes, misturas e circunstâncias de exposição para as quais as evidências sejam inadequadas em seres humanos e inadequadas ou limitadas em experiências com animais. Excepcionalmente, os agentes para os quais as provas de carcinogenicidade sejam inadequadas em seres humanos, mas existam evidências suficientes em experiências com animais podem ser colocados nesta categoria quando há fortes indícios de que o mecanismo de carcinogenicidade em animais experimentais não se revela em humanos. (IARC, 2002).

No que concerne aos efeitos dos CEM-FEB na saúde humana a publicação mais relevante da IARC é apresentada de seguida:

- *IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields, vol. 80, 2002*

⁴⁴ Classificação da IARC obtida em 17.05.2014 na ligação: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>

⁴⁵ *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–109*. Acesso ao documento em 17.05.2014 na ligação: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>

⁴⁶ Existe alguma evidência de uma relação inversa entre o consumo de café e o cancro do intestino grosso. Informação obtida no documento *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–109* em 17.05.2014 na ligação: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>

⁴⁷ A caprolactama é utilizada principalmente no fabrico de fibras sintéticas e resinas, especialmente o *nylon-6*. A sua fórmula química é $C_6H_{11}NO$ sendo muito sóluvel em água, benzeno e etoxietano e etanol. Informação obtida em 13.09.2014 na ligação: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol71/mono71-16.pdf>

National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS)

O Instituto Nacional de Ciências da Saúde Ambiental é uma organização americana que faz parte integrante do *National Institutes of Health* (NIH). Tem como missão compreender como o ambiente influencia o desenvolvimento e progressão das doenças humanas para reduzir o seu impacto e a incapacidade associada⁴⁸.

Em 1992 o NIEHS iniciou uma programa, a pedido do congresso americano, designado por EMF RAPID (*Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination Program*) com o objetivo de avaliar os potenciais efeitos na saúde humana da exposição a CEM-FEB (NIEHS, 1998). Em 1999 foi publicado um relatório sobre as conclusões das investigações desenvolvidas no âmbito do projeto. Em resumo, as conclusões inferem que as evidências científicas que sugerem que a exposição a CEM-FEB representam um risco para a saúde mostram fraca sustentabilidade. A evidência mais robusta foi observada para dois tipos de cancro na população humana: leucemia infantil e leucemia linfocítica crónica em adultos expostos a nível ocupacional. Refere ainda que enquanto os resultados dos estudos individuais induzem em evidências fracas, os estudos epidemiológicos demonstraram, para alguns métodos de medição da exposição, um padrão bastante consistente de um pequeno risco com um registo de aumento com o aumento da exposição, sendo menos evidente para a leucemia linfocítica crónica do que para a leucemia infantil (NIEHS, 1999).

O NIEHS publicou três documentos relativos aos efeitos na saúde humana dos CEM-FEB:

- *Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. Working Group Report*, 1998
- *NIEHS Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields*, 1999
- *Electric and magnetic fields associated with the use of electric power - questions and answers*, 2002

2.2.2 Disposições regulamentares e normativas

Diretivas Europeias

A União Europeia utiliza dois tipos de atos jurídicos: as Diretivas e as recomendações/orientações. Uma Diretiva é um ato jurídico previsto no Tratado da União Europeia que apresenta carácter obrigatório de aplicação em todos os seus elementos e obriga os Estados-Membros à sua transposição para o direito interno no prazo estabelecido. Uma Diretiva entra em vigor após a sua publicação no Jornal Oficial da União Europeia⁴⁹. As recomendações/orientações são documentos não vinculativos que visam facilitar a aplicação das Diretivas europeias⁵⁰.

Em julho de 1999, o Conselho de Ministros de Saúde da Comissão Europeia aprovou a Recomendação 1999/519/CE⁵¹ sobre a exposição do público em geral aos CEM. O objetivo desta orientação europeia, relativa à limitação da exposição da população aos campos eletromagnéticos na gama de frequência de 0 Hz a 300 GHz, é fornecer um quadro comunitário para as políticas e medidas nacionais destinadas a assegurar um nível elevado de proteção da

⁴⁸ *National Institute of Environmental Health Sciences*. Acesso em 24.05.2014: <http://www.niehs.nih.gov/>

⁴⁹ Descrição obtida em 24.05.2014 na ligação: <https://osha.europa.eu/pt/legislation/directives>

⁵⁰ Descrição obtida em 24.05.2014 na ligação: <https://osha.europa.eu/pt/legislation/guidelines>

⁵¹ Recomendação do Conselho de Ministros de Saúde da Comissão Europeia de 12 de Julho de 1999 relativa à Limitação da exposição da população aos campos eletromagnéticos 0 Hz - 300 GHz (1999/519/CE). Acesso em 24.05.2014 na ligação: https://osha.europa.eu/pt/legislation/guidelines/exposure_physical_hazards

saúde contra a exposição a CEM. Esta recomendação tem por base as orientações da ICNIRP, que são derivadas dos efeitos agudos nos seres humanos da exposição aos CEM.

Na sequência deste diploma foi aprovado em 29 de abril de 2004 pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia a Diretiva 2004/40/CE relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (campos eletromagnéticos) na gama de frequências de 0 Hz a 300 GHz.

Com a entrada em vigor deste diploma as partes interessadas, em particular a comunidade médica, formularam sérias reservas quanto aos efeitos potenciais da aplicação da Diretiva nos atos médicos baseados na imagiologia médica. Foram também manifestadas algumas preocupações quanto ao impacto da Diretiva em determinadas atividades industriais. Consequentemente, a Comissão Europeia analisou atentamente os argumentos invocados pelas partes interessadas e, após várias consultas, decidiu reanalisar cuidadosamente algumas disposições da Diretiva 2004/40/CE, com base em novas informações científicas. A presente Diretiva foi alterada pela Diretiva 2008/46/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, que adiou por quatro anos o termo do prazo de transposição da Diretiva 2004/40/CE e, subsequentemente, pela Diretiva 2012/11/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, que adiou até 31 de outubro de 2013 o termo desse prazo. Essa solução destinava-se a permitir que a Comissão apresentasse uma nova proposta e que os legisladores adotassem uma nova Diretiva baseada em provas mais recentes e mais sólidas.

Neste sentido, em 26 de junho de 2013 é publicada no Jornal Oficial da União Europeia a Diretiva 2013/35/UE⁵² que revoga integralmente a Diretiva 2004/40/CE. A atual Diretiva visa abordar todos os efeitos biofísicos diretos e todos os efeitos indiretos conhecidos causados por campos eletromagnéticos, não só para garantir a saúde e a segurança de cada trabalhador considerado individualmente, mas também para criar uma plataforma mínima de proteção para todos os trabalhadores da União, reduzindo simultaneamente eventuais distorções da concorrência. Não são abordados no presente diploma os presumíveis efeitos a longo prazo da exposição a campos eletromagnéticos por, atualmente, não estar cientificamente estabelecida uma relação causal. Esta Diretiva estabelece as seguintes definições base quanto aos níveis de exposição⁵³:

- **Valores limite de exposição (VLE):** Valores estabelecidos com base em considerações de ordem biofísica e biológica, nomeadamente com base em efeitos diretos agudos de curto prazo cientificamente comprovados, ou seja, efeitos térmicos e estimulação elétrica de tecidos.
- **VLE aplicáveis aos efeitos na saúde:** Valores limite de exposição acima dos quais os trabalhadores podem ficar sujeitos a efeitos nocivos para a saúde, como aquecimento térmico ou estimulação do tecido nervoso e muscular.
- **VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais:** Valores limite de exposição acima dos quais os trabalhadores podem ser objeto de perturbações transitórias das perceções sensoriais e de pequenas alterações das funções cerebrais.
- **Níveis de ação (NA):** Níveis operacionais estabelecidos para simplificar o processo de demonstração do cumprimento dos VLE relevantes ou, se adequado, para tomar medidas de proteção ou prevenção relevantes especificadas na presente Diretiva.

⁵² Diretiva 2013/35/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de junho de 2013 relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (CEM): Acesso em 24.05.2014: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-physical-hazards>

⁵³ Diretiva 2013/35/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de junho. Definições obtidas em 24.05.2014 na ligação: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-physical-hazards/osh-directives/directive-2013-35-eu-electromagnetic-fields>

A tabela 19 apresenta os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 10 MHz segundo a Diretiva 2013/35/UE. Estes valores dizem respeito à estimulação elétrica de todos os tecidos do corpo pertencentes ao sistema nervoso periférico e central, incluindo a cabeça.

Tabela 19 – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE

| Gama de frequências | VLE aplicáveis aos efeitos na saúde (E) [V.m ⁻¹] - Valor máximo |
|---------------------|---|
| 1 Hz ≤ f < 3 kHz | 1,1 |
| 3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz | 3,8 × 10 ⁻⁴ .f |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para campos elétricos internos são valores máximos espaciais no corpo inteiro do indivíduo exposto.
- Os VLE são valores máximos no tempo iguais aos valores quadráticos médios multiplicados pela raiz quadrada de 2 para campos sinusoidais. No caso dos campos não sinusoidais, a avaliação da exposição realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE baseia-se no método do máximo ponderado (filtragem no domínio do tempo) explicado nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma, podendo contudo ser aplicados outros métodos de avaliação de exposição comprovados e validados cientificamente, desde que conduzam a resultados aproximadamente equivalentes e comparáveis.

A tabela 20 apresenta os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para intensidades do campo elétrico interno entre 1 Hz e 400 Hz segundo a Diretiva 2013/35/UE. Estes efeitos estão associados ao sistema nervoso central na cabeça, ou seja, fosfenos retinianos e alterações menores transitórias de algumas funções cerebrais.

Tabela 20 – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais (1 – 400 Hz) - Diretiva 2013/35/UE

| Gama de frequências | VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais (E) [V.m ⁻¹] - Valor máximo |
|---------------------|---|
| 1 Hz ≤ f < 10 Hz | 0,7/f |
| 10 Hz ≤ f < 25 Hz | 0,07 |
| 25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz | 0,0028.f |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para campos elétricos internos são valores máximos espaciais no corpo inteiro do indivíduo exposto.
- Os VLE são valores máximos no tempo iguais aos valores quadráticos médios multiplicados pela raiz quadrada de 2 para campos sinusoidais. No caso dos campos não sinusoidais, a avaliação da exposição realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE baseia-se no método do máximo ponderado (filtragem no domínio do tempo) explicado nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma, podendo contudo ser aplicados outros métodos de avaliação de exposição comprovados e validados cientificamente, desde que conduzam a resultados aproximadamente equivalentes e comparáveis.

Na tabela 21 são definidos os níveis de ação (NA) para a exposição a campos elétricos. Os NA baixos para o campo elétrico externo baseiam-se na limitação do campo elétrico interno a valores abaixo dos VLE (tabelas 19 e 20) e na limitação das descargas de faísca no ambiente de trabalho. Para valores inferiores ao NA alto, o campo elétrico interno não ultrapassa os VLE (tabelas 19 e 20) e são evitadas as descargas de faísca inoportunas, desde que sejam tomadas as medidas de proteção previstas no artigo 5.º, n.º 6 da Diretiva em análise.

Tabela 21 – NA para exposição a campos elétricos (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE

| Gama de frequências | Intensidade do campo elétrico NA baixo (E) [V.m ⁻¹] - Valor médio quadrático | Intensidade do campo elétrico NA alto (E) [V.m ⁻¹] - Valor médio quadrático |
|----------------------|--|---|
| 1 Hz ≤ f < 25 Hz | $2,0 \times 10^4$ | $2,0 \times 10^4$ |
| 25 Hz ≤ f < 50 Hz | $5,0 \times 10^5/f$ | $2,0 \times 10^4$ |
| 50 Hz ≤ f ≤ 1,64 KHz | $5,0 \times 10^5/f$ | $1,0 \times 10^6/f$ |
| 1,64 ≤ f < 3 kHz | $5,0 \times 10^5/f$ | $6,1 \times 10^2$ |
| 3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz | $1,7 \times 10^2$ | $6,1 \times 10^2$ |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- O NA(E) baixo e o NA(E) alto são os valores quadráticos médios da intensidade do campo elétrico que correspondem aos valores máximos divididos pela raiz quadrada de 2 para campos sinusoidais. No caso dos campos não sinusoidais, a avaliação da exposição realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE baseia-se no método do máximo ponderado (filtragem no domínio do tempo) explicado nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma, podendo contudo ser aplicados outros métodos de avaliação de exposição comprovados e validados cientificamente, desde que conduzam a resultados aproximadamente equivalentes e comparáveis.
- Os NA representam valores máximos calculados ou medidos na posição do corpo dos trabalhadores. Isto conduz a uma avaliação conservadora da exposição e ao respeito automático dos VLE em todas as condições de exposição não uniformes. A fim de simplificar a avaliação do cumprimento dos VLE, realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE, em condições não uniformes específicas, serão estabelecidos nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma critérios para o cálculo da média espacial de campos medidos, baseados em técnicas comprovadas de dosimetria. No caso de uma fonte muito localizada que diste alguns centímetros do corpo, o campo elétrico induzido deve ser determinado dosimetricamente, caso a caso.

A tabela 22 representa os NA para a exposição a campos magnéticos. Os NA baixos baseiam-se, para frequências inferiores a 400 Hz, nos VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais (tabela 20), e, para frequências superiores a 400 Hz, nos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para campos elétricos internos (tabela 19). Os NA altos baseiam-se nos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para campos elétricos internos relacionados com a estimulação elétrica de tecidos nervosos periféricos e autónomos na cabeça e no tronco (tabela 19). O cumprimento dos NA altos garante que os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde não sejam ultrapassados, embora sejam possíveis efeitos relacionados com fosfenos retinianos e alterações transitórias menores da atividade cerebral, no caso da exposição da cabeça ultrapassar os NA baixos para exposições até 400 Hz. Nesse caso, aplica-se o artigo 5.º, n.º 6 da presente Diretiva. Os NA para a exposição dos membros baseiam-se nos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para campos elétricos internos relacionados com a estimulação elétrica dos tecidos dos membros.

A tabela 23 apresenta os VLE para densidades de fluxo magnético externo entre 0 e 1 Hz. Os VLE inferiores a 1 Hz constituem limites para um campo magnético estático não afetado pelo tecido corporal. Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais estão associados a condições normais de trabalho e dizem respeito a vertigens e outros efeitos fisiológicos relacionados com perturbações do equilíbrio humano causadas principalmente pelo movimento num campo magnético estático.

Os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para condições de trabalho controladas são temporariamente aplicáveis durante a transição, quando a prática ou o processo seguidos o justifiquem, e desde que tenham sido tomadas medidas preventivas, tais como o controlo dos movimentos e a prestação de informação aos trabalhadores

A tabela 24 reproduz, de acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os NA para densidades de fluxo magnético de CME.

Tabela 22 – NA para exposição a campos magnéticos (1 Hz – 10 MHz) - Diretiva 2013/35/UE

| Gama de frequências | Densidade do fluxo magnético NA baixo (B) [μT] - Valor médio quadrático | Densidade do fluxo magnético NA alto (B) [μT] - Valor médio quadrático | Densidade do fluxo magnético NA para a exposição dos membros a um campo magnético localizado [μT] (valores quadráticos médios) |
|---------------------|---|--|--|
| 1 Hz ≤ f < 8 Hz | $2,0 \times 10^5/f^2$ | $3,0 \times 10^5/f$ | $9,0 \times 10^5/f$ |
| 8 Hz ≤ f < 25 Hz | $2,5 \times 10^4/f$ | $3,0 \times 10^5/f$ | $9,0 \times 10^5/f$ |
| 25 Hz ≤ f ≤ 300 Hz | $1,0 \times 10^3$ | $3,0 \times 10^5/f$ | $9,0 \times 10^5/f$ |
| 300 Hz ≤ f < 3 kHz | $3,0 \times 10^5/f$ | $3,0 \times 10^5/f$ | $9,0 \times 10^5/f$ |
| 3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz | $1,0 \times 10^2$ | $1,0 \times 10^2$ | $3,0 \times 10^2$ |

Considerações:

- f é a frequência em Hz.
- O NA(E) baixo e o NA(E) alto são os valores quadráticos médios da intensidade do campo elétrico que correspondem aos valores máximos divididos pela raiz quadrada de 2 para campos sinusoidais. No caso dos campos não sinusoidais, a avaliação da exposição realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE baseia-se no método do máximo ponderado (filtragem no domínio do tempo) explicado nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma, podendo contudo ser aplicados outros métodos de avaliação de exposição comprovados e validados cientificamente, desde que conduzam a resultados aproximadamente equivalentes e comparáveis.
- Os NA representam valores máximos calculados ou medidos na posição do corpo dos trabalhadores. Isto conduz a uma avaliação conservadora da exposição e ao respeito automático dos VLE em todas as condições de exposição não uniformes. A fim de simplificar a avaliação do cumprimento dos VLE, realizada nos termos do artigo 4.º da Diretiva 2013/35/UE, em condições não uniformes específicas, serão estabelecidos nos guias práticos referidos no artigo 14.º do mesmo diploma critérios para o cálculo da média espacial de campos medidos, baseados em técnicas comprovadas de dosimetria. No caso de uma fonte muito localizada que diste alguns centímetros do corpo, o campo elétrico induzido deve ser determinado dosimetricamente, caso a caso.

Tabela 23 – VLE para B externo (0 – 1 Hz) - Diretiva 2013/35/UE

| Características da exposição | Densidade do fluxo magnético externo (B ₀) [T] |
|--|--|
| VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais | |
| Condições normais de trabalho | 2 |
| Exposição localizada dos membros | 8 |
| VLE aplicáveis aos efeitos na saúde | |
| Condições de trabalho controladas | 8 |

Tabela 24 – NA para densidades de fluxo magnético (0 – 1 Hz) - Diretiva 2013/35/UE

| Características da exposição | Densidade do fluxo magnético externo NA(B ₀) [mT] |
|---|---|
| Interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos | 0,5 |
| Risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT) | 3 |

Legislação Portuguesa

Em Portugal, com base na Recomendação Europeia 1999/519/CE foi publicada a portaria 1421/2004⁵⁴ de 23 de Novembro. Este diploma legal adota esta recomendação e, por conseguinte, as orientações da ICNIRP presentes nas linhas orientação publicadas em 1998⁵⁵.

⁵⁴ Portaria 1421/2004 de 23 de novembro que adota as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população a CEM. Acesso em 25.05.2014: <http://dre.pt/pdf1sdip/2004/11/275B00/68346838.pdf>

⁵⁵ ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) Health Physics 74 (4):494-522; 1998

Esta portaria define as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população em geral aos CEM. A nível ocupacional não existe legislação publicada. Desta forma, e perante a publicação da Diretiva 2013/35/UE, que se sustenta nas novas recomendações da ICNIRP publicadas em 2010⁵⁶ e que define novos valores para as restrições básicas e para os níveis de referência da exposição a CEM, este será o diploma que sustentará a presente dissertação. Esta Diretiva deverá ser regulamentada a nível dos Estados-Membros até 01 de julho de 2016.

Normas

Ao longo dos anos têm sido publicadas várias normas no campo das radiações eletromagnéticas. À semelhança das orientações produzidas pela ICNIRP, as normas não são de aplicação obrigatória, a menos que sejam adotadas pelo direito interno de um determinado país.

Designado como um organismo de normalização europeu pela Comissão Europeia, o CENELEC - *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique* é uma organização técnica sem fins lucrativos criada ao abrigo da legislação Belga. Foi criado em 1973 e é responsável pela normalização no domínio da Engenharia Eletrotécnica. As normas associadas à exposição a CEM são desenvolvidas pela comissão CLC/TC 106X - *Electromagnetic fields in the human environment*, enquanto que ao nível da soldadura por arco elétrico são preparadas pela comissão CLC/TC 26A - *Electric Arc Welding Equipment*⁵⁷. No âmbito da presente dissertação destacam-se as seguintes normas:

- **EN 50413:2008** – *Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)*

Esta Norma Europeia estabelece métodos de medição e cálculo das quantidades associadas à avaliação da exposição humana aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na gama de frequência de 0 Hz a 300 GHz. Esta norma não entra em detalhes devido à ampla gama de frequências e ao largo espetro de aplicações possíveis, fornece apenas procedimentos de avaliação relevantes de carácter geral para aqueles equipamentos ou locais de trabalho para os quais não exista uma Norma Europeia específica. Sempre que possível a análise deve utilizar normas específicas ao equipamento ou local de trabalho.

- **EN 50499:2008** – *Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields*

Estabelece um procedimento geral para a avaliação da exposição ocupacional a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para demonstrar a conformidade com os valores limite de exposição e valores de acção estabelecidos pela Diretiva Europeia 2004/40/CE.

- **EN 50444:2008** – *Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for arc welding and allied processes*

Especifica os procedimentos de avaliação de campos eletromagnéticos produzidos por equipamentos de soldadura por arco elétrico e define as condições de operação padrão e testes de parametrização. Pode ser utilizado como base para demonstrar a conformidade com as diretrizes ou requisitos nacionais e internacionais no que diz respeito à exposição humana a campos eletromagnéticos de equipamentos de soldadura a arco elétrico.

⁵⁶ ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz) publicado na *Health Physics* 99(6):818-836; 2010

⁵⁷ European Committee for Electrotechnical Standardization. Acesso em 07.06.2014: <http://www.cenelec.eu/>

- **EN 12198-1:2000+A1:2008 – *Safety of machinery - Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery - Part 1: General principles***
Estabelece orientações relativas à emissão de radiações emitidas pelas máquinas. Orienta os fabricantes para uma adequada construção de máquinas e define a sua classificação de acordo com os níveis de radiação emitida.
- **EN 12198-2:2002+A1:2008 – *Safety of machinery - Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery - Part 2: Radiation emission measurement procedure***
Define os requisitos básicos dos equipamentos de medição e os procedimentos gerais para efetuar as medições relacionadas com a radiação emitida pelas máquinas, de acordo com a norma EN 12198-1:2000.
- **EN 12198-3:2002+A1:2008 – *Safety of machinery - Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery - Part 3: Reduction of radiation by attenuation or screening***
Define os requisitos básicos que devem cumprir as máquinas que emitem radiações perigosas para que sejam eficientes na proteção contra essas radiações.

O IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* é a maior organização profissional do mundo e tem como missão promover a inovação tecnológica e excelência para o benefício da humanidade⁵⁸. Destacam-se as seguintes normas em matéria dos CEM publicadas pelo IEEE:

- **C95.6-2002 - *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz***
Estabelece limites de exposição a CEM para o público em geral e público ocupacional na gama de frequências de 0 a 3 kHz. Esta recomendação não se aplica em ambiente hospitalar e a pessoas que utilizem dispositivos médicos ou implantes.
- **C95.3.1-2010 - *IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz***
Descreve técnicas de medição e métodos computacionais que podem ser utilizados para determinar a conformidade com os padrões de exposição a campos elétricos e magnéticos na gama de 0 Hz a 100 kHz.

⁵⁸ *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Acesso em 07.06.2014: <http://www.ieee.org/>

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação tem como objetivo estudar os potenciais efeitos biológicos da exposição a campos eletromagnéticos nas atividades de soldadura por arco elétrico, nomeadamente na soldadura por eletrodos revestidos (SER) e na soldadura MAG, dos formandos do curso profissional de soldador. Os objetivos específicos são:

- Avaliar os níveis de exposição dos formandos na execução da componente prática do curso profissional de soldador nos processos de soldadura SER e MAG;
- Comparar os valores medidos com os Níveis de Ação (NA) e Valores Limite de Exposição (VLE) definidos na Diretiva Europeia 2013/35/UE;
- Recomendar, em caso de necessidade, as medidas de prevenção de forma a garantir o cumprimento da legislação em vigor.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Contexto da Dissertação

De uma forma geral, os estudos existentes são focados na população em geral ou no público ocupacional, onde, para estes últimos, os limites de exposição são mais permissivos devido à consciencialização dos profissionais perante os riscos da própria atividade. A atividade de formação impõe uma abordagem dupla, onde, por um lado, os formandos são informados dos riscos associados à atividade para a qual estão a receber formação, por outro, devido à sua in experiência estão expostos a condições que muitas vezes negligenciam. Estes formandos, na sua componente prática de formação, são sujeitos a um ambiente muito semelhante ao encontrado na indústria. Aliado à relevância do tema e à escassez de estudos existentes a nível nacional e internacional este é o vetor que justifica a escolha do tema da dissertação.

A componente prática da presente dissertação foi desenvolvida na ATEC – Academia de formação na sua delegação do Porto. Esta unidade de formação apresenta uma estrutura com 1.845 m² a qual integra uma oficina de soldadura com 140 m². A sede da ATEC situa-se no parque industrial Autoeuropa em Palmela e dispõe ainda de mais quatro espaços formativos na região Norte e Centro do País: Aveiro, Braga, S. João da Madeira e Viseu.

A missão da ATEC é desenvolver e aperfeiçoar competências através da formação e qualificação de pessoas, utilizando métodos e equipamentos avançados, com o objetivo de exceder as expectativas do mercado, contribuindo assim para o enriquecimento do país, potenciando o crescimento de pessoas e organizações⁵⁹.

A sua oferta formativa é vasta e divide-se em dois segmentos fundamentais: Formação e consultoria para empresas e formação profissional. Ao nível da formação e consultoria para empresas a oferta de cursos da ATEC abrange todo um leque de formação contínua que visa conseguir o acréscimo de competências dos recursos humanos, ajudando as empresas a

⁵⁹ ATEC – Academia de Formação. Acesso em 07.06.2014: <https://www.atec.pt/>

estabelecer e manter programas de desenvolvimento adaptados aos valores e objetivos das organizações. No que concerne à formação profissional a oferta, tendencialmente na área técnica, está disponível para jovens e adultos desde o 6.º ano de escolaridade aos detentores de cursos do ensino superior. A tabela 25 resume as modalidades de formação disponíveis na ATEC.

Tabela 25 – Oferta formativa da ATEC – Academia de Formação⁶⁰

| Modalidade | Habilitações de entrada | Idade (anos) | Duração média (anos) | Perfil de saída | Nível de qualificação de saída - QNQ ⁶¹ |
|--|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------|--|
| Educação e Formação de Adultos | 6.º ano | ≥ 18 | 1,5 | 9.º ano | 2 |
| Educação e Formação de Jovens | 9.º ano | 15 – 22 | 1 | 9.º ano | 2 |
| Aprendizagem | 9.º ano | 15 – 24 | 2,5 | 12.º ano | 4 |
| Educação e Formação de Adultos | 9.º ano | ≥ 23 | 1,5 | 12.º ano | 4 |
| Especialização Tecnológica | 12.º ano | 18 – 35 | 1 | 12.º ano | 5 |
| Integração Profissional de Técnicos Superiores | Ensino Superior | 22 – 30 | 1 | - | 6 |

Os cursos de formação, com a exceção da educação e formação de jovens, são realizados de acordo com os referenciais definidos pela ANQEP - Agência Nacional para a Qualificação e Ensino Profissional e integrados no CNQ – Catálogo Nacional de Qualificações⁶².

O curso de soldador, integrado na área de metalurgia e metalomecânica, corresponde à modalidade de educação e formação de jovens. As habilitações de entrada são o 9.º ano concluído e a faixa etária dos formandos está compreendida entre os 15 e os 22 anos. O curso tem a duração total de 1.670 horas, que se desenvolve aproximadamente durante 1 ano, e inclui 2 meses de Formação Prática em Contexto de Trabalho (FPCT) onde os formandos aplicam em situação real os conhecimentos e técnicos obtidos ao longo do período de formação. A soldadura por arco elétrico, nomeadamente a soldadura SER e MAG, são as ministradas neste curso devido à sua representatividade no mercado de trabalho.

O curso está estruturado em formação sociocultural, que representa 11,7% da carga horária total, formação científica, com peso de 5,4%, formação tecnológica, que corresponde a 59,3%, formação em contexto de trabalho, que representa 21,6% da globalidade do percurso formativo e o exame final com um peso de 2,1%. A tabela 26 e a figura 30 apresentam uma visão global destas componentes de formação. Os objetivos principais do curso de soldador são elencados de seguida:

- Montar e pontear elementos de conjuntos de construção metálica e preparar as peças e os bordos das juntas a soldar;
- Executar a soldadura de conjuntos e estruturas metálicas pelo processo elétrico a arco, manual, com elétrodos revestidos, SER 111;
- Executar a soldadura de conjuntos, estruturas metálicas pelo processo elétrico a arco, MAG/FF - 135/136.

⁶⁰ Informação obtida em 07.06.2014 na ligação <https://www.atec.pt/formacao-profissional-jovens.html>

⁶¹ QNQ – Quadro Nacional de Qualificação. Portaria 782/2009 de 23 de julho que regula o Quadro Nacional de Qualificações e define os descritores para a caracterização dos níveis de qualificação nacionais. Acesso em 07.06.2014 na ligação <https://dre.pt/pdf1sdip/2009/07/14100/0477604778.pdf>

⁶² Catálogo Nacional de Qualificações. Acesso em 07.06.2014 disponível em <http://www.catalogo.anqep.gov.pt/>

Tabela 26 – Estrutura curricular do curso de Soldador

| Componente de Formação | Área de competência | Unidade de Formação | Duração | Total da componente | % |
|------------------------|--|--|---------|---------------------|-------|
| SOCIOCULTURAL | Línguas, Cultura e Comunicação | Língua Portuguesa | 45 | 195 | 11,7% |
| | | Inglês | 45 | | |
| | | Tecnologias de Informação e Comunicação | 35 | | |
| | Cidadania e Sociedade | Cidadania e Sociedade | 30 | | |
| | | Segurança e Saúde no Trabalho | 40 | | |
| CIENTÍFICA | Ciências Aplicadas | Matemática Aplicada | 45 | 90 | 5,4% |
| | | Física e Química | 45 | | |
| TECNOLÓGICA | Tecnológicas Específicas | Preparação, montagem e soldadura de elementos simples de estruturas metálicas | 460 | 990 | 59,3% |
| | | Montagem e soldadura EAM – 111 de elementos de estruturas metálicas em aço ao carbono de baixo teor em liga (1.1; 1.2 CR ISO/TR 15608) | 300 | | |
| | | Montagem e soldadura MAG/FF -135/136 de estruturas em aço (1.1; 1.2 CR ISO/TR 15608) – EN 287-1 e EN ISO 9606-2 | 230 | | |
| PRÁTICA | Formação Prática em Contexto de Trabalho | | 360 | 360 | 21,6% |
| EXAME | Prova de Avaliação Final | | 35 | 35 | 2,1% |

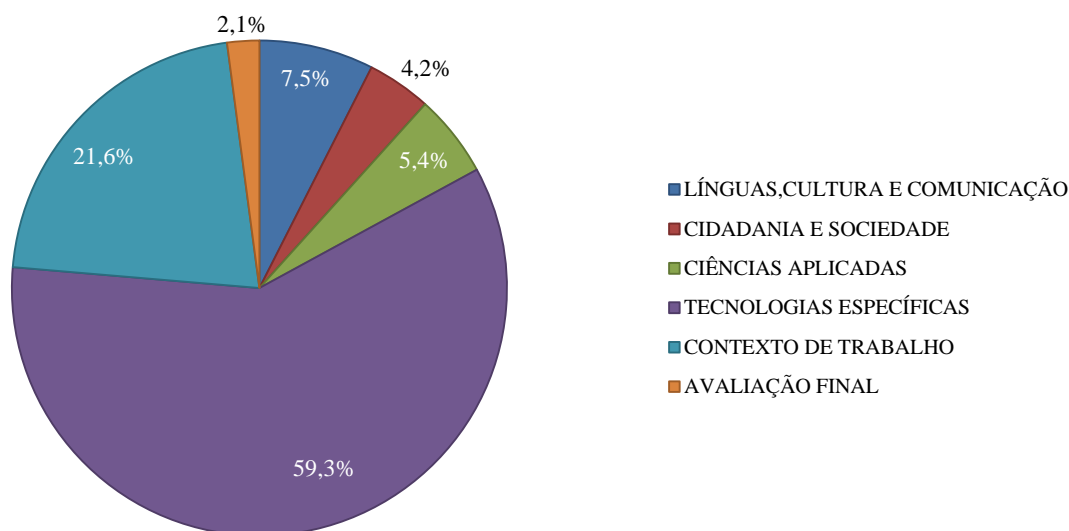
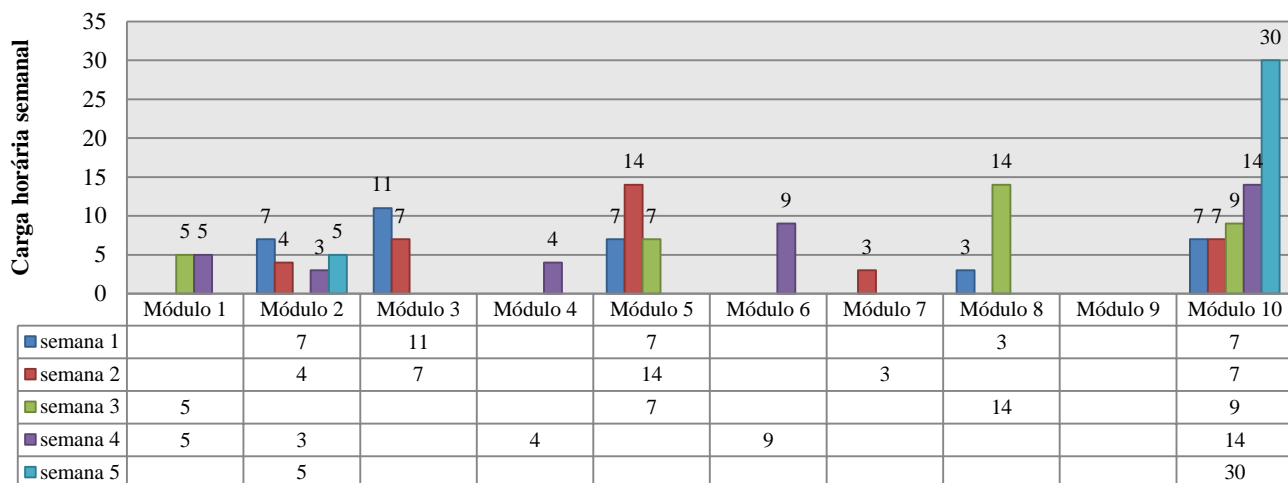


Figura 30 – Estrutura curricular do curso de Soldador

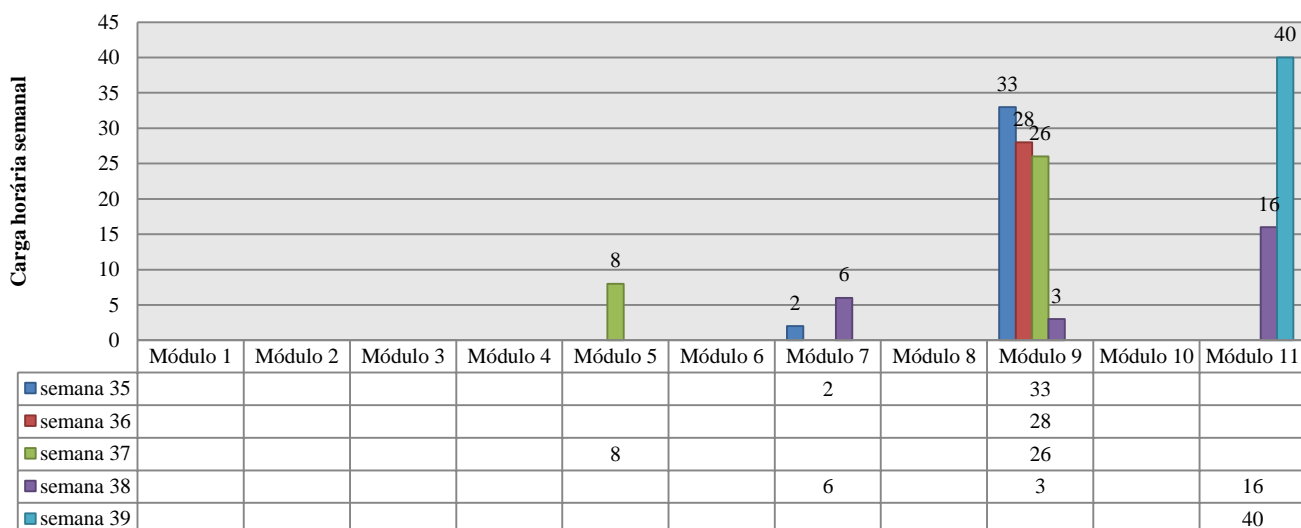
A turma considerada no presente trabalho iniciou a sua formação em 20 de setembro de 2013 e era constituída por 18 formandos. A duração diária da formação é de 7 horas durante o período na academia de formação, num total de 35 horas semanais, e de 8 horas na componente de formação prática em contexto de trabalho, que conduz a 40 horas por semana. O horário de formação tem início às 8:30 e termina às 16:40 com período de almoço das 11:40 às 12:30.

O planeamento do curso é realizado pelo coordenador da turma que estrutura os módulos de cariz não técnicos com maior intensidade no início da formação. A FPCT é realizada no final do curso para a aplicação dos conceitos adquiridos em ambiente de formação em contexto real de trabalho. A figura 31 apresenta a estrutura de planeamento do curso para as primeiras 5 semanas e a figura 32 mostra a mesma estrutura para as semanas que antecedem o período de formação prática em contexto de trabalho. O cronograma integral pode ser analisado no anexo I.



Módulo 1: Língua Portuguesa **Módulo 2:** Inglês **Módulo 3:** Tecnologias de Informação e Comunicação
Módulo 4: Cidadania e Sociedade **Módulo 5:** Segurança e Saúde no Trabalho **Módulo 6:** Matemática Aplicada
Módulo 7: Física e Química **Módulo 8:** Preparação, montagem e soldadura de elementos simples de estruturas metálicas
Módulo 9: Montagem e soldadura EAM – 111 de elementos de estruturas metálicas em aço ao carbono de baixo teor em liga
Módulo 10: Montagem e soldadura MAG/FF -135/136 de estruturas em aço - EN 287-1 e EN ISO 9606-2

Figura 31 – Planeamento do curso de Soldador: Semana 1-5



Módulo 1: Língua Portuguesa **Módulo 2:** Inglês **Módulo 3:** Tecnologias de Informação e Comunicação
Módulo 4: Cidadania e Sociedade **Módulo 5:** Segurança e Saúde no Trabalho **Módulo 6:** Matemática Aplicada
Módulo 7: Física e Química **Módulo 8:** Preparação, montagem e soldadura de elementos simples de estruturas metálicas
Módulo 9: Montagem e soldadura EAM – 111 de elementos de estruturas metálicas em aço ao carbono de baixo teor em liga
Módulo 10: Montagem e soldadura MAG/FF -135/136 de estruturas em aço - EN 287-1 e EN ISO 9606-2 **Módulo 11:** FPCT

Figura 32 – Planeamento do curso de Soldador: Semana 35-39

3.2.2 Equipamentos e protocolos de medição

No curso de formação profissional de Soldador são abordados os processos de soldadura SER e MAG. A exposição média mensal está associada ao número de horas de formação prática em oficina onde são realizados os trabalhos específicos de soldadura. A componente de formação tecnológica tem a duração de 990 horas e é dividida em formação técnica em sala (FTS), onde são ministrados e avaliados os conceitos teóricos fundamentais na área de soldadura, e formação técnica em oficina (FTO): FTS – 236 h [23,8%]; FTO – 754 h [76,2%]. A formação em oficina é, normalmente, realizada num período diário completo composto por 7 horas. Integrado neste período de formação, os 5 minutos iniciais são utilizados para a orientação geral dos trabalhos, e os 30 minutos finais para limpeza e organização do local de trabalho. O ciclo de formação é constituído por 3 horas da parte da manhã e 4 horas da parte da tarde. Existem dois intervalos de 10 minutos, um no período da manhã e outro no período da tarde, adicionais ao período de formação. A refeição tem a duração de 50 minutos e é realizada das 11:40 às 12:30. Devido às características específicas da formação, nomeadamente, a necessidade da preparação das peças para a soldadura, a limpeza adequada da peça, a substituição dos elétrodos na soldadura SER, a reposição de materiais de desgaste, o momento de orientação de trabalhos inicial, a limpeza do local de trabalho realizado no final e as características comportamentais dos formandos desta faixa etária, particularmente, pontualidade e focos de distração normais da idade, considera-se razoável efetuar uma redução de um fator de 40% no tempo de exposição. Não foi considerado o tempo de exposição na componente de formação prática em contexto de trabalho pela dificuldade de obtenção de dados concretos, contudo será de esperar um elevado período de exposição a CEM já que esta componente de formação é realizada num contexto real de trabalho, com as suas regras inerentes, e apresenta uma carga horária diária de 8 horas. O exame final com a duração de 35 horas também não foi considerado devido à pequena representatividade no contexto global da formação. A tabela 27 reproduz a exposição mensal dos formandos e a sua representação gráfica poderá ser visualizada na figura 33. A tabela 28 apresenta a exposição média por processo de soldadura e a respetiva correção ao tempo de exposição.

Tabela 27 – Exposição média mensal dos formandos a CEM

| Tipo de módulo | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| Não técnico ¹ | - | 91 | 29 | 28 | 23 | 13 | 32 | 25 | 28 | 16 | - | - | - | - |
| % Não técnico ² | - | 56,5% | 19,7% | 22,2% | 14,9% | 9,3% | 21,8% | 17,9% | 19,0% | 12,3% | - | - | - | - |
| Técnico em sala | 7 | 37 | 7 | 52 | 0 | 23 | 35 | 33 | 28 | 14 | - | - | - | - |
| % Técnica em sala | 100% | 23,0% | 4,8% | 41,3% | 0% | 16,4% | 23,8% | 23,6% | 19,0% | 10,8% | - | - | - | - |
| Técnico em oficina | 0 | 33 | 111 | 46 | 131 | 104 | 80 | 82 | 91 | 76 | - | - | - | - |
| % média exposição ² | 0% | 20,5% | 75,5% | 36,5% | 85,1% | 74,3% | 54,4% | 58,6% | 61,9% | 58,5% | - | - | - | - |
| FPCT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 24 | 184 | 8 | 144 | 0 |
| % FPCT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18,5% | 100% | 100% | 83,7% | 0% |
| Exame final | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 28 | 7 |
| % Exame final | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 16,3% | 100% |
| Horas mensais | 7 | 161 | 147 | 126 | 154 | 140 | 147 | 140 | 147 | 130 | 184 | 8 | 172 | 7 |

Considerações:

Carga horária de cada componente em horas mensais

¹ Módulo Não técnico: Componente de formação sociocultural e científica

² Peso representativo da carga horária da componente em relação às horas mensais

³ % Mensal de exposição a CEM ao longo do curso. A FPCT e o exame final não foram quantificados ao nível da exposição.

Tabela 28 – Distribuição da exposição por processo de soldadura

| Processo de soldadura | Total exposição ¹ | Total com fator de correção ² |
|---|------------------------------|--|
| Soldadura por Eléktrodo Revestidos (SER) | 445 | 267 |
| Soldadura MAG | 309 | 186 |
| Total de exposição por curso de formação | 754 | 453 |

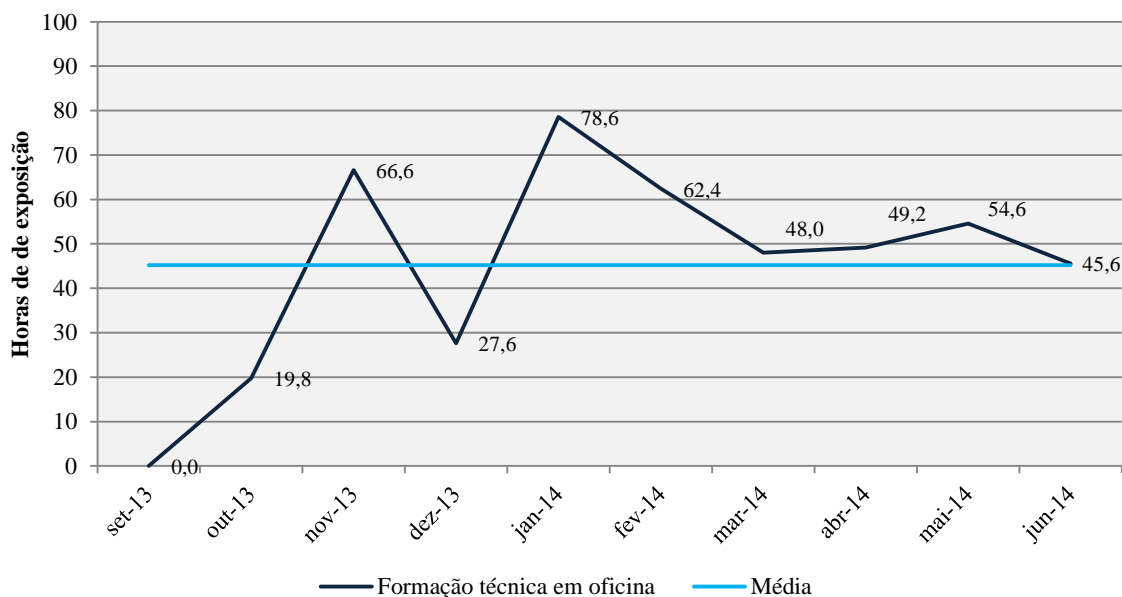
Considerações:¹ Valor médio por curso de formação em horas² Fator de correção referente a uma redução de 40 % ao total de horas de exposição

Figura 33 – Exposição mensal dos formandos a CEM

Os trabalhos realizados em contexto de oficina são em tudo semelhantes ao que os formandos futuramente irão realizar na sua atividade profissional de soldador. As medições foram realizadas na fase final do curso de formação, antes da componente de formação prática em contexto de trabalho. O exercício prático no momento da avaliação dos CEM foi, nas medições para a soldadura SER, um trabalho de picagem exterior, utilizado em tubagens ou nas turbinas dos reatores das centrais nucleares, e nas medições da soldadura MAG, um trabalho de soldadura de junta de canto, em posição horizontal, utilizado na construção de estruturas metálicas.

A área de soldadura da academia de formação é constituída por 18 cabines de soldadura, uma área de corte e uma área de preparação de materiais. As cabines de soldadura apresentam uma área de 3,6 m², com uma profundidade de 2 m e uma largura de 1,8 m, equipadas com máquinas ESAB MIG C3000i, que permitem executar os processos SER, MIG/MAG e TIG. Dispõe ainda um sistema de extração individualizado em cada cabine da marca Nederman. A figura 34 apresenta uma perspetiva da área de soldadura. Na figura 35 é apresentada a máquina de soldadura utilizada e a tabela 29 apresenta as suas características técnicas.

Para a avaliação dos campos elétricos e magnéticos durante os processos de soldadura SER e MAG foram realizadas várias medições da intensidade do campo elétrico, E medido em [V.m⁻¹], e da densidade de fluxo magnético, B medida em [T]. Os parâmetros da máquina de soldadura durante as medições são indicados na tabela 30.



Figura 34 – Perspetiva da área de soldadura

Tabela 29 – Características técnicas máquinas ESAB C3000i

| Caraterística | Informação técnica SER | Informação técnica MIG/MAG |
|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Modelo | C3000i | |
| Tensão de alimentação | 400V, $\pm 10\%$, 3~ 50/60 Hz | |
| Temperatura de funcionamento | -10 – 40°C | |
| Classe de revestimento ⁶³ | IP23 | |
| Variação dos parâmetros U/I | - / 16 – 300A | 8 – 48V / 16 – 300A |
| Fator de potência (à corrente máxima) | 0,90 | 0,90 |
| Velocidade de alimentação do fio | - | 0,8 – 25,0 m/min. |

Tabela 30 – Parâmetros do processo SER e MAG durante as medições

| Caraterística | Informação técnica SER | Informação técnica MIG/MAG |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| Tensão de soldadura ¹ | 21,7 – 22,7 V | 19 – 20,5 V |
| Corrente de soldadura ¹ | 95 – 96A | 157A |
| Comprimento dos cabos de soldadura | 4,5 m | 4,5 m |
| Espessura do eletrodo | 2,5 mm | - |
| Tipo de eletrodo | 7018 básico | - |
| Velocidade de alimentação do fio ¹ | - | 4,6 m/min. |
| Diâmetro do fio | - | 1,2 mm |
| Fio de soldadura MAG | - | AWS A5.20:E71T-1M-JH4 |
| Gás de proteção | - | 82% Árgon + 18% CO ₂ |

¹ Valores indicados no equipamento de soldadura



Figura 35 – Máquina de soldadura ESAB C3000i

⁶³ O código IP indica o grau de proteção contra a penetração de objetos sólidos e de água.

O equipamento de soldadura utiliza uma tecnologia de funcionamento a IGBT. A corrente de saída para o porta-eléttodos ou tocha de soldadura apresenta uma característica contínua. Será, no entanto, de esperar uma ligeira característica de ondulação no sinal de saída. Para avaliar o sinal de saída dos processos de soldadura foram realizadas medições da tensão e da corrente através de equipamentos específicos. A tabela 31 apresenta as características técnicas dos equipamentos de medição utilizados para analisar o sinal da tensão e da corrente. A medição da tensão no processo MAG não foi realizada devido à indisponibilidade de equipamento de medição adequado perante as particularidades do processo.

Como as tensões de saída utilizadas no processo de soldadura por arco elétrico são bastante reduzidas quando comparadas com os níveis que, tendencialmente, produzem efeitos biológicos no corpo humano, os estudos nesta área, normalmente, centram-se na medição dos CM.

Tabela 31 – Características dos equipamentos de medição da tensão no processo SER

| Caraterística | Pinça amperimétrica | Pinça amperimétrica | Osciloscópio |
|----------------------------|---|---------------------|----------------|
| Marca | Fluke | STANDARD | TENMA |
| Modelo | 322 | ST-333 | 72-8705 |
| Número de série | 90270387 | 12031302 | 1836059 |
| Largura de banda | 400 Hz | 150 kHz | 50 MHz |
| Número e tipo de canais | - | - | 2 (analógicos) |
| Sensibilidade vertical | - | - | 1mV to 20V/div |
| Rise time | - | - | ≤ 7 ns |
| Gama de tensões CA | 0 – 400 V e 0 – 600 V | 0 – 600 V | - |
| Exatidão gama tensões CA | 1,2% + 5 dig. (50-400 Hz) | - | - |
| Gama de correntes CA | 0 – 400 A | 0 – 400 A | - |
| Exatidão gama correntes CA | 1,8% + 5 dig. (50 – 60 Hz) 3% + 5 dig. (60 – 400 Hz) | - | - |
| Gama de tensões CC | 0 – 400 V e 0 – 600 V | 0 – 600 V | - |
| Exatidão gama tensões CC | 1% + 5 dig. | - | - |
| Gama de correntes CC | - | 0 – 400 A | - |
| Exatidão gama correntes CC | - | - | - |

A medição da densidade de fluxo magnético é uma forma simples de avaliação da exposição a CM. Para a medição destes campos foi utilizado o analisador de campos eletromagnéticos da AARONIA AG modelo SPECTRAN NF-5035. Este equipamento possui um sensor para medição isotrópica (3D) de campos magnéticos variáveis no tempo e campos estáticos. As medições foram realizadas com o equipamento ligado ao computador para aquisição e gravação das medições através do *software MCS Real Time Spectrum Analyzer*⁶⁴. As características técnicas do equipamento podem ser analisadas na tabela 32 e a sua ilustração pode ser visualizada na figura 36.

Tabela 32 – Características do analisador SPECTRAN NF-5035

| Caraterística | Informação técnica |
|--|--------------------|
| Número de série | 100115696 |
| Gama de frequências | 0 Hz – 30 MHz |
| Gama de níveis para medição do Campo Elétrico | 0,1V/m – 20kV/m |
| Gama de níveis para medição do Campo Magnético | 1 pT – 2mT |
| Exatidão | ± 3% |
| Tempo mínimo de amostragem | 10 ms |
| Memória interna | 64 k |
| Bateria | 1300 mAh |
| Comprimento cabo PC | 1 m |

⁶⁴ MCS Real Time Spectrum Analyzer. Acesso em 15.06.2014 na ligação: <http://www.aaronia.pt/produtos/software/>



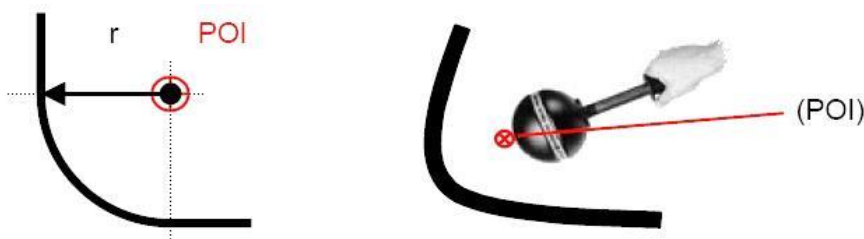
Figura 36 – Analisador SPECTRAN NF-5035

Para a preparação do protocolo de medição foram utilizadas as recomendações da norma EN 50444:2008. De acordo com este documento as medições devem ser efetuadas a 50 cm de distância do equipamento de soldadura, uma vez que é a posição mais próxima recomendada para o soldador durante o processo de soldadura. Além destas medições, o campo magnético deve ser medido à distância de 1 e 2 m das superfícies da máquina. As medições devem ser efetuadas num plano horizontal nas 4 direções, uma perpendicular ao painel frontal da máquina e as restantes perpendicularmente aos restantes painéis com um ângulo de 90° entre os pontos de medição. Relativamente, aos cabos de soldadura é expectável que a maior intensidade de campo magnético seja medida na sua proximidade, na tocha ou no porta-elétron. Esta norma recomenda que a medição para a avaliação da máxima exposição devido aos cabos de soldadura seja realizada no centro de um quarto de círculo com um raio de 20 cm.

A figura 37 ilustra o protocolo de medição para a avaliação da máxima exposição devido aos cabos de soldadura de acordo com a EN 50444:2008.

Foram realizadas várias medições nas cabines de soldadura onde os formandos realizam os trabalhos práticos em diferentes posições e distâncias. De seguida são elencados os diferentes critérios do protocolo de medição implementado:

- **Pontos de medição:** Máquina painel frontal, máquina painel lateral com rotação a 90°, cabos de soldadura, cabeça, peito, pernas, mão (porta-elétron ou tocha)
- **Distâncias de medição (em cm):** 1, 20, 50, 100, 200
- **Medições:** Foram inicialmente medidos os campos magnéticos estáticos devido à sua representatividade já que a frequência base está centrada nos 0 Hz, de seguida os campos magnéticos variáveis no tempo em várias frequências e posteriormente os campos elétricos.

Figura 37 – Medição para avaliação da exposição aos cabos de soldadura⁶⁵

⁶⁵ EN 50444:2008 – *Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for arc welding and allied processes*

Embora as medições sejam realizadas em várias posições, do ponto de vista da segurança e saúde ocupacional, a medição mais relevante é aquela que apresenta maior nível de exposição (Garrido & Dinis, 2014). A distribuição da exposição no corpo do soldador é bastante heterogênea uma vez que, as distâncias entre as várias partes do corpo e as fontes de emissão dos CM, nomeadamente do arco de soldadura, dos eletrodos, dos cabos e da fonte de alimentação, são muito variadas (Skotte & Hjøllund, 1997).

4 RESULTADOS

Foram realizadas 148 medições, das quais 64 medições para o processo SER e 84 medições para o processo MAG segundo a metodologia descrita no capítulo anterior. A avaliação dos CEM foi realizada na fase final da formação e, de forma a obter dados mais consistentes e próximos das atividades reais do mercado de trabalho, foram integrados no estudo apenas dois formandos escolhidos de acordo com os seguintes critérios: Conhecimentos técnicos adequados para os processos SER e MAG e destreza na realização prática destes processos. A seleção dos formandos foi realizada pelo coordenador da turma.

Do período de formação prática, que representa 59,1% da carga horária total realizada na academia de formação, e que corresponde a 754 horas, os formandos estão em média 445 horas a executar trabalhos no processo SER e 309 horas no processo MAG. A aplicação do fator de correção de 40%, de acordo com a tabela 28 e a figura 33, originam 267 horas de exposição para a soldadura SER e 186 horas de exposição para a soldadura MAG.

Para avaliar o sinal de saída do processo de soldadura SER foi realizada a medição da tensão através de um voltímetro e de um osciloscópio. A figura 38 ilustra os equipamentos de medição utilizados. A corrente elétrica também foi alvo de medição para o processo SER e MAG.

Os valores obtidos nas medições dos parâmetros referidos são apresentados na tabela 33 e comparados com os valores indicados no equipamento de soldadura. A figura 39 apresenta o sinal visualizado no osciloscópio para o processo de soldadura SER onde se pode analisar a ondulação da tensão de saída.

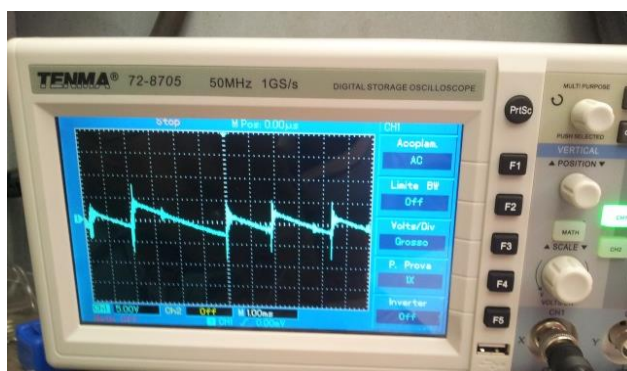
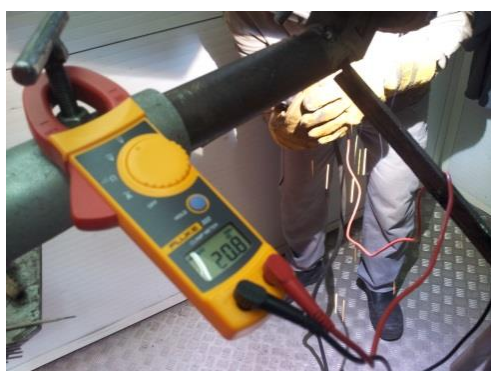


Figura 38 – Medição da tensão de soldadura no processo SER

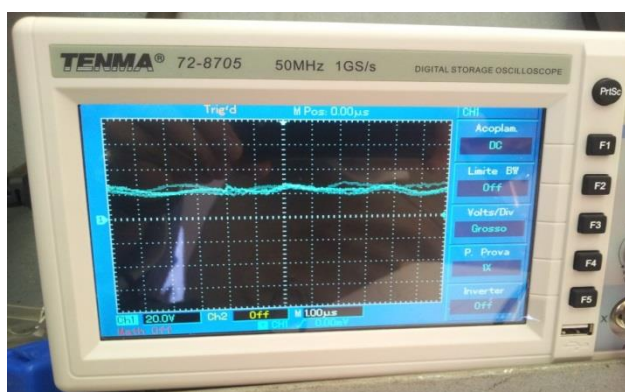


Figura 39 – Onda da tensão de saída no processo SER

Tabela 33 – Parâmetros reais medidos nos processos de soldadura SER e MAG

| Caraterística | Indicação do equipamento soldadura | | Pinça amperimétrica | | Osciloscópio | |
|---------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------|---------------|--------------|-----|
| | SER | MAG | SER | MAG | SER | MAG |
| Tensão de soldadura (V) | 21,7 - 22,7 | 19 - 20,5 | 20,8 - 23,7* | 20,2 - 20,7* | 20 - 28*** | - |
| Corrente de soldadura (A) | 95 - 96 | 157 | 89,8 - 100** | 141,4 - 178** | - | - |

* Medição com o equipamento Fluke 322

** Medição com o equipamento STANDARD ST-333

*** Tensão contínua com componente alternada - tensão de ondulação ΔV de 8 V.

Os resultados mais significativos obtidos no **processo de soldadura SER** são apresentados na tabela 34 e os resultados integrais são apresentados no anexo II. Foram realizadas medições ao nível da cabeça, da mão (porta-elétrodo), do peito, das pernas, dos cabos, da máquina no painel frontal e da máquina no painel lateral com rotação a 90° para o lado do soldador. As medições foram realizadas em diferentes cabines de soldadura com diferentes máquinas do mesmo modelo.

O campo magnético registou o valor mais elevado ao nível dos cabos com uma densidade de fluxo magnético de 182,87 μT para um campo estático ($f = 0$ Hz). Seguiu-se a medição ao nível do painel frontal da máquina com uma densidade de fluxo de 138,87 μT e da mão (tocha) com 119,3 μT , ambos referentes a campos estáticos. Foram registados vários harmónicos, no entanto, com valores pouco significativos quando comparados com a frequência fundamental. O campo elétrico atingiu o valor mais elevado para uma frequência de 430 Hz ao nível dos cabos com uma intensidade do campo elétrico de 455,84 V/m.

A figura 40 ilustra o trabalho de picagem exterior realizado com o processo de soldadura SER, utilizado em tubagens ou nas turbinas dos reatores das centrais nucleares e os parâmetros de regulação da máquina. A figura 41 mostra a medição realizada no processo de soldadura SER ao nível da mão (porta-eléttodos).



Figura 40 – Processo de soldadura SER e parâmetros de regulação da máquina

Tabela 34 – Resultados obtidos no processo de soldadura SER

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Cabeça | 0 | 74,57 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 210 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 290 | - | 55,82 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 340 | - | 54,96 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 400 | - | 56,11 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 460 | - | 55,22 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mão (porta-elérodos) | 0 | 119,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 120 | 20,66 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Peito | 0 | 92,04 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | 93,32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cabos | 0 | 182,87 | - | 71,11 | - | 70,57 | - | 56,61 | - | 52,69 | - |
| | 0 | 176,81 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 210 | 18,64 | - | - | 181,54 | - | - | - | - | - | - |
| | 430 | - | 455,84 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 440 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5,21 | - |
| Máquina painel lateral | 0 | 110,36 | - | 83,36 | - | 76,38 | - | - | - | - | - |
| | 190 | 12,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 230 | 10,61 | - | 10,37 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pernas | 0 | 102,55 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | - | 94,8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 40 | 101,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Máquina painel frontal | 0 | 138,87 | - | 101,51 | - | 87,45 | - | 66,45 | - | 56,92 | - |
| | 360 | - | - | - | 170,55 | - | 53,4 | - | - | - | - |
| | 410 | - | - | - | - | - | 60,93 | - | - | - | - |

Caraterísticas técnicas: Máquina soldadura: ESAB C3000i; U = 20,8 - 23,7V; I = 89,8 – 100A; Eléctrodo: ϕ 2,5 mm² (7018 básico)



Figura 41 – Medição ao nível da mão (porta-eléktodos) no processo SER

Nas figuras 42 e 43 são apresentadas as medições mais relevantes gravadas no *software MCS Real Time Spectrum Analyzer* para o processo de soldadura SER ao nível do campo magnético. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE de 26 de junho, os VLE para densidades de fluxo magnético externo para campos estáticos (0 a 1 Hz) não são ultrapassados em nenhuma das situações: VLE aplicável aos efeitos sensoriais (condições normais de trabalho) = 2T (tabela 23). Também não foram ultrapassados os NA para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos indutores de interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos: $NA(B_0) = 0,5 \text{ mT}$, e não existe risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético ($> 100 \text{ mT}$): $NA(B_0) = 3 \text{ mT}$ (tabela 24).



Figura 42 – Gráfico do campo magnético ao nível dos cabos no processo SER ($d = 1 \text{ cm}$)



Figura 43 – Gráfico do campo magnético no painel frontal no processo SER (d = 1 cm)

A figura 44 evidencia a medição do campo elétrico realizada ao nível dos cabos cujo valor atingiu um máximo de $455,84 \text{ V.m}^{-1}$, que corresponde a um valor quadrático médio de $322,3 \text{ V.m}^{-1}$, para uma frequência de 430 Hz. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE o valor NA(E) baixo e NA(E) alto para a exposição a campos elétricos de 1 Hz a 10 MHz não são ultrapassados: NA(E) baixo = 1.163 V.m^{-1} , NA(E) alto = 2.326 V.m^{-1} (tabela 21).



Figura 44 – Gráfico do campo elétrico ao nível dos cabos no processo SER (d = 1 cm)

Os resultados mais relevantes obtidos no **processo de soldadura MAG** são apresentados na tabela 35 e os resultados globais encontram-se no anexo III. As medições foram efetuadas na realização de um trabalho de soldadura de junta de canto, em posição horizontal, utilizado na construção de estruturas metálicas.

O campo magnético registou o valor mais elevado ao nível dos cabos com uma densidade de fluxo magnético de $703,84 \mu\text{T}$ para um campo estático ($f = 0 \text{ Hz}$). Seguiu-se a medição ao nível do painel frontal da máquina com uma densidade de fluxo de $505,12 \mu\text{T}$ e da mão (tocha) com $244,2 \mu\text{T}$, ambos referentes a campos estáticos.

A figura 45 ilustra o processo de soldadura MAG e os parâmetros de regulação da máquina e a figura 46 mostra as medições realizadas no processo de soldadura ao nível da cabeça e do painel frontal da máquina de soldadura.



Figura 45 – Processo de soldadura MAG e parâmetros de regulação da máquina



Figura 46 – Medição ao nível do painel frontal da máquina e da cabeça no processo MAG

Nas figuras 47 e 48 são apresentadas as medições referentes ao cabo de alimentação da tocha e do painel frontal gravadas no *software MCS Real Time Spectrum Analyzer* para o processo de soldadura MAG ao nível do campo magnético. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE de 26 de

junho, os VLE para densidades de fluxo magnético externo para campos estáticos (0 a 1 Hz) não são ultrapassados em nenhuma das situações: VLE aplicável aos efeitos sensoriais (condições normais de trabalho) = 2T (tabela 23). Também não é ultrapassado o NA para risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT): $NA(B_0) = 3$ mT (tabela 24). No entanto **é ultrapassado o NA para densidades do fluxo magnético de CME** no que respeita a interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos: $NA(B_0) = 0,5$ mT (tabela 24).



Figura 47 – Gráfico do campo magnético ao nível dos cabos no processo MAG ($d = 1$ cm)



Figura 48 – Gráfico do campo magnético no painel frontal no processo MAG ($d = 1$ cm)

Tabela 35 – Resultados obtidos no processo de soldadura MAG

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Cabeça | 0 | 86,37 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 57,4 | - | 117,06 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mão (tocha) | 0 | 244,24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 170,14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 154,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 59,4 | - | 150,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 136,8 | - | 127,81 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 116,05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Peito | 36,6 | 105,76 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 59,4 | - | 150,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 703,84 | - | 359,57 | - | 116,31 | - | 52,35 | - | 48,39 | - |
| Cabos | 0 | 538,11 | - | 294,14 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 536,76 | - | 289,56 | - | - | - | - | - | 5,53 | - |
| | 0 | 519,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Máquina painel lateral | 0 | 57,83 | - | 57,15 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pernas | 0 | 106,87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 42,6 | 157,82 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 48,2 | - | 238,6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 95,2 | 143,29 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 505,12 | - | 348,04 | - | 283,49 | - | 37,29 | - | 34,02 | - |
| Máquina painel frontal | 30,2 | 200,06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 33,4 | 146,59 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 35 | 146,26 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 47 | 186,44 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 49 | 195,78 | 129,92 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 100 | - | 386,77 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Caraterísticas técnicas: Máquina soldadura: ESAB C3000i; U = 20,2 - 20,7V; I = 141,4 – 178,0A; Tipo fio: Fio fluxado; Velocidade do fio: 4,6 m/min; Gases de proteção: 82% Árgon + 18% CO₂

5 DISCUSSÃO

A presente dissertação pretende avaliar os níveis de exposição dos formandos do curso profissional de soldador na execução da componente prática de formação nos processos de soldadura SER e MAG. Os trabalhos realizados pelos formandos refletem de forma rigorosa futuros trabalhos reais do mercado de trabalho. As medições foram realizadas na fase final da formação onde os formandos já possuíam os conhecimentos necessários para a realização das atividade de soldadura de forma correta.

As medições realizadas para o processo SER e MAG apresentaram características semelhantes nos dois processos, das quais se sublinham:

- Os valores máximos da densidade de fluxo magnético foram atingidos nos dois processos para as medições junto aos cabos, seguida das efetuadas na área frontal da máquina de soldar, sendo a medição na mão do soldador, junto ao porta-eléttodos ou à tocha, o terceiro valor mais elevado.
- À medida que a distância de medição aumenta o valor do campo magnético diminui. A figura 49 representa a variação da densidade de fluxo magnético com a distância do ponto de medição para o processo SER e MAG.
- Os valores mais elevados para os campos magnéticos foram obtidos à frequência de 0 Hz.
- Os valores medidos para o campo elétrico são bastante inferiores ao nível de ação definidos pela Diretiva 2013/35/UE, devido aos baixos valores de tensão utilizados nos processos de soldadura.

Os resultados obtidos para a densidade de fluxo magnético mostram uma exposição não homogénea com um amplo espectro de variação [5,21 μ T - 703,87 μ T] e que está diretamente associada ao tipo de processo de soldadura e à distância do ponto de medição. Este resultado está em concordância com o obtido no estudo de (Dasdag et al., 2002). Os resultados obtidos mostram ainda que o processo de soldadura MAG atinge valores mais elevados de densidade de fluxo magnético devido à corrente elétrica utilizada ser superior à do processo de soldadura SER.

No processo SER o valor mais elevado da densidade de fluxo magnético foi obtido junto aos cabos com 182,87 μ T, seguido da medição no painel frontal da máquina com 138,87 μ T, registando na mão que segura o porta-eléttodos, o valor de 119,30 μ T. Todos os valores foram registados à frequência de 0 Hz. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os valores limite de exposição para densidades de fluxo magnético externo para campos estáticos (0 a 1 Hz) não são ultrapassados em nenhuma das situações: VLE aplicável aos efeitos sensoriais (condições normais de trabalho) = 2T (tabela 23). Também não foram ultrapassados os NA para densidades do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos indutores de interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos: NA(B_0) = 0,5 mT, e não existe risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT): NA(B_0) = 3 mT (tabela 24). A figura 50 reproduz os valores obtidos nas diferentes posições de medição para a distância de 1 cm correspondente à frequência fundamental ($f = 0$ Hz).

No processo de soldadura MAG o valor mais elevado da densidade de fluxo magnético foi também atingido junto aos cabos de soldadura registando 703,84 μ T, o painel frontal apresentou o segundo valor mais elevado com 505,12 μ T, seguido de 244,24 μ T medido ao nível da mão que segura a tocha. Todos os valores assumem a frequência de 0 Hz. De acordo com a Diretiva 2013/35/UE, os VLE para densidades de fluxo magnético externo para campos estáticos (0 a 1 Hz) não são ultrapassados em nenhuma das situações: VLE aplicável aos efeitos sensoriais (condições normais de trabalho) = 2T (tabela 23). Também não é ultrapassado o NA para risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT): NA (B_0) = 3 mT (tabela 22). No entanto **é ultrapassado o NA para densidades do fluxo magnético de CME**

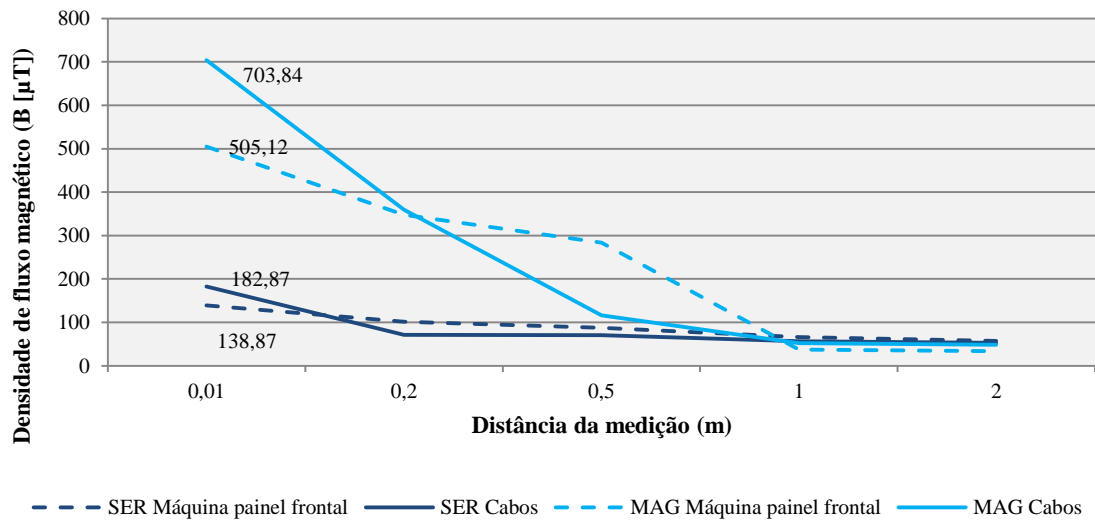


Figura 49 – Variação de B com a distância do ponto de medição

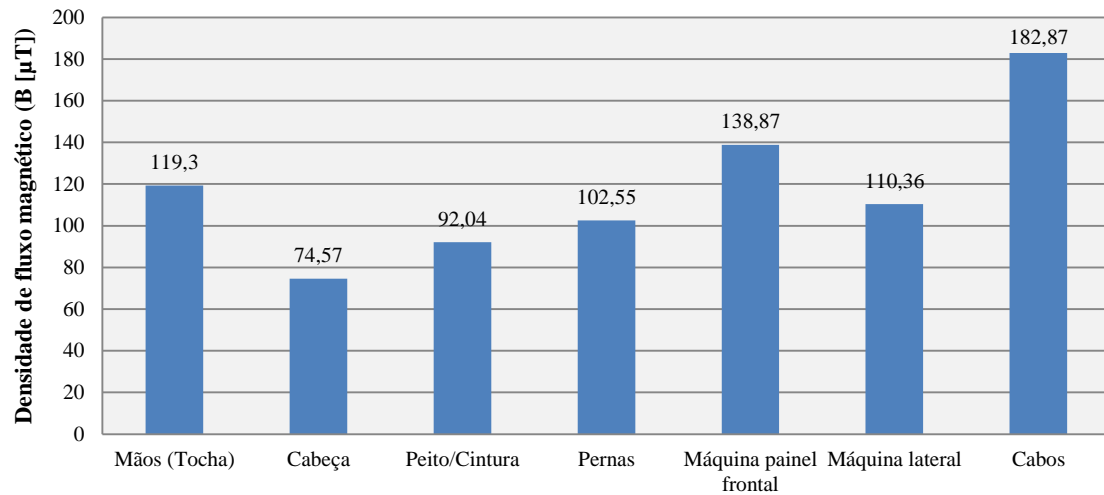


Figura 50 – Variação de $B_{máx.}$ para as diferentes posições de medição no processo SER

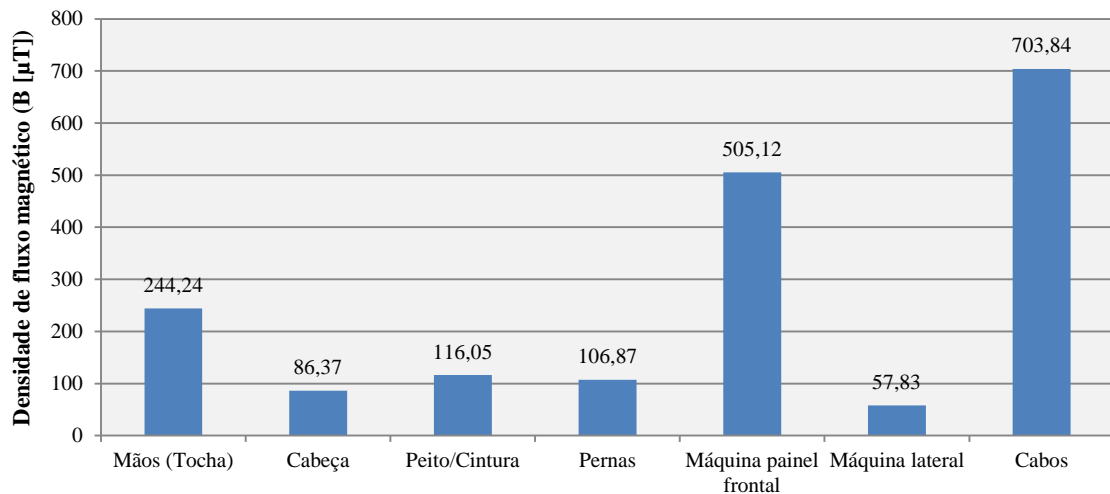


Figura 51 – Variação de $B_{máx.}$ para as diferentes posições de medição no processo MAG

no que respeita a interferência em implantes médicos ativos, por exemplo, estimuladores cardíacos: NA (B_0) = 0,5 mT (tabela 24), pelo que não devem ser realizadas tarefas de soldadura MAG por pessoas com este tipo de equipamento médico. Os resultados em formato de visualização gráfica, para as diferentes posições à distância de 1 cm e para a frequência de 0 Hz, podem ser visualizados na figura 51.

Pela análise dos valores obtidos para as frequências harmónicas em nenhuma situação os NA para os campos eléctricos e magnéticos são ultrapassados. Por esta razão, e de acordo com as orientações da ICNIRP, na sua mais recente publicação no âmbito dos campos eléctricos e magnéticos variáveis ao longo do tempo (ICNIRP, 2010), o contributo das várias frequências não tem efeitos cumulativos. O resultado da expressão matemática, onde $H_{i,j}$ é a intensidade do campo magnético à frequência j e $H_{R,j}$ o nível de referência da intensidade do campo magnético à frequência j (tabela 16), assumirá um resultado inferior à unidade.

$$\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_{i,j}}{H_{R,j}} \leq 1 \quad (\text{Equação 11})$$

A Diretiva 2013/35/UE de 26 de junho revoga a anterior Diretiva 2004/40/CE de 30 de abril de 2004 e deve ser transposta pelos estados-membros até 01 de julho de 2016. A Diretiva 2004/40/CE apresenta, de uma forma geral, valores mais restritivos, no entanto os valores obtidos encontram-se também em conformidade com os valores que desencadeiam a ação estabelecidos neste documento. As recomendações da ICNIRP para as exposições ocupacionais referenciadas nas linhas de orientação no âmbito dos campos eléctricos e magnéticos variáveis ao longo do tempo (ICNIRP, 2010) e dos campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2009) são também cumpridas na totalidade. Os resultados obtidos no presente trabalho convergem no mesmo sentido dos obtidos por (Garrido & Dinis, 2014) e (Kamil, 2012).

Além dos CEM as atividades de soldadura apresentam o risco associado à inalação de fumos do próprio processo, como por exemplo o níquel e o crómio. A IARC classifica os fumos de soldadura no grupo 2B, considerados possivelmente cancerígeno para os seres humanos. A ATEC dispõe de um sistema de extração individualizado em cada cabine, de forma a fazer, eficazmente, a extração dos fumos gerados pelos trabalhos de soldadura. Adicionalmente, é fornecido aos formandos uma máscara autofiltrante FFP2 NR, que dispõe de um filtro de média retenção e protege contra sólidos e líquidos, preparada para uma concentração máxima de 10.VLE. É fundamental sensibilizar os formandos para a correta colocação do sistema de extração na área onde está a ser realizado o trabalho de soldadura, bem como a necessidade de utilizar o equipamento de proteção individual com o objetivo de reduzir ao mínimo a inalação dos fumos gerados pelo processo. Na figura 52 pode ser analisado o sistema de extração e o equipamento de proteção individual referido.



Figura 52 – Sistema de extração da cabine e máscara FFP2 NR

Inevitavelmente, o processo de soldadura gera radiações óticas que podem provocar lesões ao nível da pele e dos olhos. As radiações ultravioletas são classificadas pela IARC como cancerígenas para os seres humanos (grupo 1). O efeito biológico mais comum devido à exposição a radiações ultravioleta (UV) ao nível da pele é o eritema, nas bandas UVB (280-315 nm) e UVC (200-280 nm), podendo a exposição prolongada a intensidades elevadas desenvolver lesões malignas (S. Marzec, 2012). Ao nível dos olhos a exposição a radiações UV originam inflamação da córnea e conjuntivite, que normalmente se manifestam algumas horas após o período de absorção da radiação (S. Marzec, 2012). Todas as cabines de soldadura estão equipadas com cortinas de proteção de radiações óticas de forma a reduzir a exposição de formandos e do formador quando estejam na área normal de circulação. A figura 53 mostra o aspeto de uma cabine de soldadura com o pormenor das cortinas de proteção de radiações óticas.



Figura 53 – Cortinas de proteção de radiações óticas

De forma a garantir a segurança de cada formando é fornecido pela academia de formação, no início do curso, fardamento e equipamento adequado, nomeadamente, casaco de cabedal, máscara de soldadura, máscara autofiltrante FFP2 NR, auriculares e luvas de proteção. Na figura 54 pode ser visualizado um formando devidamente equipado.



Figura 54 – Fardamento e equipamentos de proteção individual dos formandos

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos são ainda hoje um tema amplamente estudado pela comunidade científica, onde subsiste a falta de resultados concretos e inequívocos, e que têm originado a publicação de vários estudos e orientações legislativas. A União Europeia, consciente da atualidade e sensibilidade do tema, publicou em junho de 2013 a Diretiva 2013/35/UE que define as prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos campos eletromagnéticos, e que revoga a anterior Diretiva 2004/40/CE, originando um documento mais rigoroso e que integra os resultados dos mais recentes estudos científicos.

O presente trabalho teve como objetivo **avaliar a exposição dos formandos do curso de formação profissional de soldador aos campos eletromagnéticos a que estão sujeitos na realização dos trabalhos práticos inerentes ao seu percurso formativo**. Os formandos utilizam dois processos de soldadura ao longo da sua formação prática: Soldadura SER e soldadura MAG. As medições foram realizadas na execução de trabalhos práticos em tudo semelhantes aos que futuramente irão realizar no mercado de trabalho como soldadores.

A análise e interpretação dos valores obtidos mostram uma **exposição não homogênea** com um amplo espectro de variação, que está diretamente associado ao tipo de processo de soldadura e à distância do ponto de medição. **Os valores mais elevados da densidade de fluxo magnético foram obtidos junto aos cabos e ao painel frontal da máquina de soldadura.**

No processo de soldadura SER todos os valores são inferiores aos VLE definidos para as densidades do fluxo magnético externo da Diretiva 2013/35/UE. Paralelamente, também os NA referenciados para os campos estáticos ao nível da interferência com implantes médicos, por exemplo, estimuladores cardíacos, e o potencial risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT) **não são atingidos.**

No processo de soldadura MAG os VLE referentes às densidades do fluxo magnético não são ultrapassados em nenhuma das posições de medição. Ao nível dos NA para densidades de fluxo magnético de campos magnéticos estáticos, embora não seja ultrapassado o valor determinado para o risco de atração e projeção na extremidade alta do campo magnético (> 100 mT), **existe o risco de interferência em implantes médicos ativos**, por exemplo, estimuladores cardíacos. Neste processo a medição junto aos cabos e ao painel frontal da máquina ultrapassou os 0,5 mT impostos pela Diretiva 2013/35/UE. É aconselhável que no processo de recrutamento e seleção dos formandos deste curso se inclua um diagnóstico médico ou seja solicitada uma declaração médica que comprove que o candidato não possui nenhum implante médico ativo. Os resultados obtidos mostram que **a densidade de fluxo magnético é inversamente proporcional à distância ao ponto de medição** o que induz que será importante **garantir que a posição de trabalho se encontra o mais afastado possível do painel frontal da máquina e, dentro do limite possível, dos cabos de soldadura.**

A Organização Mundial de Saúde, ciente da necessidade de esclarecer, de forma clara e estruturada, quais os potenciais riscos para as populações da exposição a CEM, publicou o documento “Estabelecendo um diálogo sobre riscos de campos eletromagnéticos” (OMS, 2002) destinado, principalmente, a quem toma decisões, para que sejam o mais possível sustentadas em dados factuais e transparentes. **Em Portugal os CEM ainda constituem uma enorme incerteza, torna-se por isso determinante criar mais segurança sobre o tema quer para investidores, decisores e para a população em geral.**

6.2 Perspetivas Futuras

O completo conhecimento dos efeitos biológicos dos CEM são nos dias de hoje ainda um verdadeiro desafio para a comunidade científica. A continuidade de estudos nesta área é fundamental, podendo os discentes de cursos de mestrado e doutoramento dar um importante contributo para a evolução deste conhecimento.

Como forma de complementar o presente estudo seria relevante estudar se os níveis de exposição variam ao longo do curso de formação, devido à melhoria da destreza na utilização das técnicas de soldadura, nomeadamente, a adoção de posições adequadas nos trabalhos de soldadura ou a realização do processo de soldadura de forma correta. Paralelamente, ao analisador de campos eletromagnéticos, que permiti realizar medições pontuais, seria interessante utilizar um medidor de campos magnéticos individual, que o formando utilizaria ao longo de todo o período de formação permitindo desta forma avaliar a exposição média diária.

Seria, igualmente, pertinente efetuar a avaliação dos CEM na componente de formação prática em contexto de trabalho onde os formandos utilizam outras máquinas, com diferentes tecnologias, e em diferentes ambientes, de forma a avaliar a consistência de resultados.

Seria interessante, do ponto de vista de avaliação a médio/longo prazo, seguir o percurso profissional dos formandos após a conclusão do curso, já que permitiria estimar a exposição a CEM ao longo da vida e determinar se os efeitos cumulativos induzem potenciais consequências biológicas.

7 BIBLIOGRAFIA

- Artacho-Cordón, F., Salinas-Asensio, M. D. M., Calvente, I., Ríos-Arrabal, S., León, J., Román-Marinetto, E., ... Núñez, M. I. (2013). Could radiotherapy effectiveness be enhanced by electromagnetic field treatment? *International Journal of Molecular Sciences*, 14(7), 14974–95. doi:10.3390/ijms140714974
- Bardin, V. M., Borisov, D. a., Zemskov, a. V., & Pivkin, a. V. (2012). New class of welding inverters. *Russian Electrical Engineering*, 83(6), 346–349. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/10.3103/S1068371212060028>
- Chen, Q., Lang, L., Wu, W., Xu, G., Zhang, X., Li, T., & Huang, H. (2013). A meta-analysis on the relationship between exposure to ELF-EMFs and the risk of female breast cancer. *PLoS One*, 8(7), e69272. doi:10.1371/journal.pone.0069272
- Cho, H., Seo, S. W., Kim, J.-H., Kim, C., Ye, B. S., Kim, G. H., ... Na, D. L. (2013). Changes in subcortical structures in early- versus late-onset Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 34(7), 1740–7. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2013.01.001
- Cooper, A. R., Van Wijngaarden, E., Fisher, S. G., Adams, M. J., Yost, M. G., & Bowman, J. D. (2009). A population-based cohort study of occupational exposure to magnetic fields and cardiovascular disease mortality. *Annals of Epidemiology*, 19(1), 42–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19064188>
- Dasdag, S., Sert, C., Akdag, Z., & Batun, S. (2002). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders. *Archives of Medical Research*, 33(1), 29–32.
- Dominici, L., Villarini, M., Fatigoni, C., Monarca, S., & Moretti, M. (2011). Genotoxic hazard evaluation in welders occupationally exposed to extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215(1), 68–75. doi:10.1016/j.ijheh.2011.07.010
- EFHRAN. (2012). Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised).
- Fetter, J. G., Benditt, D. G., & Stanton, M. S. (1996). Electromagnetic interference from welding and motors on implantable cardioverter-defibrillators as tested in the electrically hostile work site. *Journal of the American College of Cardiology*, 28(2), 423–7. doi:10.1016/0735-1097(96)00147-7
- García, A. M., Sisternas, A., & Hoyos, S. P. (2008). Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *International Journal of Epidemiology*, 37(2), 329–40. doi:10.1093/ije/dym295
- Garrido, A. C. M., & Dinis, M. L. (2014). Assessment of electromagnetic fields in arc and resistance welding, (Group 3), 381–385.
- Grassi, F., Spadacini, G., & Pignari, S. a. (2012). Human exposure in arc-welding processes: Current versus previous ICNIRP basic restrictions. *2012 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 749–754. doi:10.1109/ISEMC.2012.6350920

- Gurevitz, O., Fogel, R. I., Herner, M. E., Sample, R., Strickberger, A. S., Daoud, E. G., ... Prystowsky, E. N. (2003). Patients with an ICD can safely resume work in industrial facilities following simple screening for electromagnetic interference. *Pacing and Clinical Electrophysiology : PACE*, 26(8), 1675–8.
- Håkansson, N., Stenlund, C., Gustavsson, P., Johansen, C., & Floderus, B. (2005). Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(5), 304–8. doi:10.1136/oem.2004.015479
- Halgamuge, M. N. (2013). Pineal melatonin level disruption in humans due, 154(4), 405–416.
- Halgamuge, M. N., Abeyrathne, C. D., & Mendis, P. (2010). Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars. *Radiation Protection Dosimetry*, 141(3), 255–68. doi:10.1093/rpd/ncq168
- IARC. (2002). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Non-ionizing radiation, part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields.
- IARC. (2009). *IARC Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*.
- IARC. (2013). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Non-ionizing radiation, part 2 : radiofrequency electromagnetic fields, 102.
- ICNIRP. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic.
- ICNIRP. (2009). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.
- ICNIRP. (2010). Linhas de orientação para os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos variáveis ao longo do tempo (frequências de 1Hz a 100 KHz).
- Kamil, J. A. (2012). Measurement of magnetic fields emitted from welding machines. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 05(02), 114–128.
- Kheifets, L., Ahlbom, a, Crespi, C. M., Draper, G., Hagihara, J., Lowenthal, R. M., ... Wunsch Filho, V. (2010). Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*, 103(7), 1128–35. doi:10.1038/sj.bjc.6605838
- Koeman, T., van den Brandt, P. a, Slottje, P., Schouten, L. J., Goldbohm, R. A., Kromhout, H., & Vermeulen, R. (2013). Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. *Cancer Causes & Control : CCC*, 25(2), 203–14. doi:10.1007/s10552-013-0322-x
- Kostoff, R. N., & Lau, C. G. Y. (2013). Combined biological and health effects of electromagnetic fields and other agents in the published literature. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1331–1349. doi:10.1016/j.techfore.2012.12.006

- Mair P. (2005). Assessment of EMF (electromagnetic fields) and biological effects in arc welding applications. *International Institute of Welding, Commission XII, Intermediate Meeting, Fronius International*, 1–10.
- Man, A.-K., & Shahidan, R. (2007). Variations in occupational exposure to magnetic fields among welders in Malaysia, *128*(4), 444–8. doi:10.1093/rpd/ncm434
- Marcilio, I., & Gouveia, N. (2009). Extremely low-frequency magnetic fields and health effects : literature review, *12*(2), 1–19.
- McNamee, D. A., Legros, A. G., Krewski, D. R., Wisenberg, G., Prato, F. S., & Thomas, A. W. (2009). A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *82*(8), 919–33. doi:10.1007/s00420-009-0404-y
- NIEHS. (1998). Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. Working Group Report.
- NIEHS. (1999). NIEHS Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. *NIH Publication No. 99-4493*.
- NIEHS. (2002). Electric and magnetic fields associated with the use of electric power - questions and answers. *Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power - Questions and Answers*.
- NRPB. (2001). National Radiological Protection Board: ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer.
- OMS. (2002). Estabelecendo um diálogo sobre riscos de campos eletromagnéticos.
- Paulo Liberato, C. M. (2008). A eletricidade e a saúde os campos eletromagnéticos - Informação para o grande público. *REN - Rede Elétrica Nacional*.
- Pedersen, C., Raaschou-Nielsen, O., Rod, N. H., Frei, P., Poulsen, A. H., Johansen, C., & Schüz, J. (2014). Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark. *Cancer Causes & Control: CCC*, *25*(2), 171–7. doi:10.1007/s10552-013-0319-5
- Röösli, M., Lörtscher, M., Egger, M., Pfluger, D., Schreier, N., Lörtscher, E., ... Minder, C. (2007). Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiology*, *28*(4), 197–206. doi:10.1159/000108111
- S. Marzec. (2012). Exposure of workers to optical radiation and electromagnetic fields of welding equipment, (June 2014), 845–851. doi:10.1080/09507116.2011.606129
- Sá, J. L. P. de. (2011). Guia de medidas de mitigação da emissão de campo magnético a 50 Hz em instalações da EDP. *EDP Distribuição, Plano de Promoção de Desempenho Ambiental 2009-2011*.
- Schüz, J. (2011). Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: update of the epidemiological evidence., *107*(3), 339–42.

- Skotte, J. H., & Hjøllund, H. I. (1997). Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 18(7), 470–7.
- Stern, R. M. (1987). Cancer incidence among welders: possible effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic radiation (ELF) and to welding fumes. *Environmental Health Perspectives*, 76(14), 221–9.
- Sun, J.-W., Li, X.-R., Gao, H.-Y., Yin, J.-Y., Qin, Q., Nie, S.-F., & Wei, S. (2013). Electromagnetic field exposure and male breast cancer risk: a meta-analysis of 18 studies. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention : APJCP*, 14(1), 523–8.
- Teepen, J. C., & van Dijck, J. a a M. (2012). Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence. *International Journal of Cancer. Journal International Du Cancer*, 131(4), 769–78. doi:10.1002/ijc.27542
- Tesneli, N. B. (2013). Occupational exposure to electromagnetic fields of uninterruptible power supply industry workers, 1–10.
- Tiikkaja, M., Aro, A. L., Alanko, T., Lindholm, H., Sistonen, H., Hartikainen, J. E. K., ... Hietanen, M. (2013). Electromagnetic interference with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators from low-frequency electromagnetic fields in vivo., 15(3), 388–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23125355>
- Valic, B., Kos, B., & Gajsek, P. (2014). Typical Exposure of Children To Emf: Exposimetry and Dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*, 1–11. doi:10.1093/rpd/ncu057
- Wertheimer, N., & Leeper, E. D. (1979). Electrical wiring configurations and childhood cancer, 273–284.
- Wijesekera, L. C., & Leigh, P. N. (2009). Amyotrophic lateral sclerosis. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 4, 3. doi:10.1186/1750-1172-4-3
- Wilkins JR, I., & Wellage, L. (1996). Brain tumor risk in offspring of men occupationally exposed to electric and magnetic fields. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 22(5), 339–345. doi:10.5271/sjweh.151
- World Health Organization. (2007). Environmental Health Criteria 238 - Extremely low frequency fields.
- Yalç, S., & Erdem, G. (2012). Biological effects of electromagnetic fields. *African Journal of Biotechnology*, 11(17), 3933–3941. doi:10.5897/AJB11.3308
- Yamaguchi-Sekino, S., Ojima, J., Sekino, M., Hojo, M., Saito, H., & Okuno, T. (2011). Measuring exposed magnetic fields of welders in working time. *Industrial Health*, 49(3), 274–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21670555>
- Zhou, H., Chen, G., Chen, C., Yu, Y., & Xu, Z. (2012). Association between extremely low-frequency electromagnetic fields occupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *PloS One*, 7(11), e48354. doi:10.1371/journal.pone.0048354

ANEXOS

ANEXO I – CRONOGRAMA DE FORMAÇÃO

SETEMBRO/OUTUBRO 2013

| Horário | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui |
|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|--|-------|--------|-------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 30-set | 1-out | 2-out | 3-out | 4-out | | 7-out | 8-out | 9-out | 10-out | 11-out | | 14-out | 15-out | 16-out | 17-out | 18-out | | 21-out | 22-out | 23-out | 24-out | 25-out | | 28-out | 29-out | 30-out | 31-out |
| 8:30- 9:30 | ING | DT2 | ING | SST | TIC | | FQ | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | LP | | MAG/FF | ING | MAT | MAG/FF | MAT | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF |
| 9:40-10:40 | ING | DT2 | ING | SST | TIC | | FQ | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | LP | | MAG/FF | ING | MAT | MAG/FF | MAT | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF |
| 10:40 - 11:40 | ING | DT2 | ING | SST | TIC | | FQ | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | LP | | MAG/FF | ING | MAT | MAG/FF | LP | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF |
| 12:30 - 13:30 | MAG/FF | ING | TIC | SST | TIC | | ING | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | LP | | MAT | CS | MAG/FF | MAG/FF | LP | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF |
| 13:30- 14:30 | MAG/FF | ING | TIC | SST | TIC | | ING | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | LP | | MAT | CS | MAG/FF | MAG/FF | LP | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF |
| 14:40 - 15:40 | MAG/FF | ING | TIC | SST | TIC | | ING | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | MAG/FF | | MAT | CS | MAG/FF | MAG/FF | LP | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | ING |
| 15:40 - 16:40 | MAG/FF | ING | TIC | SST | TIC | | ING | MAG/FF | SST | SST | TIC | | DT2 | DT2 | SST | MAG/FF | MAG/FF | | MAT | CS | MAG/FF | MAG/FF | LP | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | ING |

NOVEMBRO2013

| Horário | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex |
|---------------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1-nov | | 4-nov | 5-nov | 6-nov | 7-nov | 8-nov | | 11-nov | 12-nov | 13-nov | 14-nov | 15-nov | | 18-nov | 19-nov | 20-nov | 21-nov | 22-nov | | 25-nov | 26-nov | 27-nov | 28-nov | 29-nov |
| 8:30- 9:30 | MAG/FF | | ING | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | LP | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | ING | DT2 |
| 9:40-10:40 | MAG/FF | | ING | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | LP | MAG/FF | ING | MAG/FF | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | ING | DT2 |
| 10:40 - 11:40 | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | LP | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | DT2 |
| 12:30 - 13:30 | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | DT2 |
| 13:30- 14:30 | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | TIC | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | DT1 | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | LP |
| 14:40 - 15:40 | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | TIC | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | DT1 | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | LP |
| 15:40 - 16:40 | MAG/FF | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | TIC | MAG/FF | | ING | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | DT1 | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | | | MAG/FF | MAG/FF | MAG/FF | LP |

DEZEMBRO 2013

| Horário | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter |
|---------------|--|--------|--------|-------|--------|------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 2-dez | 3-dez | 4-dez | 5-dez | 6-dez | | 9-dez | 10-dez | 11-dez | 12-dez | 13-dez | | 16-dez | 17-dez | 18-dez | 19-dez | 20-dez | | 23-dez | 24-dez | 25-dez | 26-dez | 27-dez | | 30-dez | 31-dez |
| 8:30- 9:30 | | MAG/FF | MAG/FF | DT2 | ING | MAG/F F | | MAG/FF | ING | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | ING | EAM | EAM | | | | | CS | DT1 | | TIC | |
| 9:40-10:40 | | MAG/FF | MAG/FF | DT2 | ING | MAG/F F | | MAG/FF | ING | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | ING | EAM | EAM | | | | | CS | DT1 | | TIC | |
| 10:40 - 11:40 | | MAG/FF | MAG/FF | LP | MAG/FF | ING | | MAG/FF | ING | EAM | EAM | EAM | | EAM | ING | EAM | EAM | EAM | | | | | CS | DT1 | | TIC | |
| 12:30 - 13:30 | | MAG/FF | MAG/FF | LP | MAG/FF | ING | | MAG/FF | MAG/FF | EAM | EAM | DT2 | | EAM | EAM | EAM | EAM | TIC | | | | | DT1 | DT1 | | DT1 | |
| 13:30- 14:30 | | MAG/FF | MAG/FF | LP | MAG/FF | LP | | MAG/FF | EAM | EAM | EAM | DT2 | | EAM | EAM | EAM | DT2 | TIC | | | | | DT1 | DT1 | | DT1 | |
| 14:40 - 15:40 | | MAG/FF | MAG/FF | LP | MAG/FF | LP | | MAG/FF | EAM | EAM | EAM | DT2 | | EAM | EAM | EAM | DT2 | TIC | | | | | DT1 | DT1 | | DT1 | |
| 15:40 - 16:40 | | MAG/FF | MAG/FF | LP | MAG/FF | LP | | MAG/FF | EAM | EAM | EAM | DT2 | | EAM | EAM | EAM | DT2 | TIC | | | | | DT1 | DT1 | | DT1 | |

JANEIRO 2014

| Horário | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex |
|---------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1-jan | 2-jan | 3-jan | | 6-jan | 7-jan | 8-jan | 9-jan | 10-jan | | 13-jan | 14-jan | 15-jan | 16-jan | 17-jan | | 20-jan | 21-jan | 22-jan | 23-jan | 24-jan | | 27-jan | 28-jan | 29-jan | 30-jan | 31-jan |
| 8:30- 9:30 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | TIC | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS |
| 9:40-10:40 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | TIC | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS |
| 10:40 - 11:40 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | TIC | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS |
| 12:30 - 13:30 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | SST | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | TIC | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM |
| 13:30- 14:30 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | SST | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | TIC | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM |
| 14:40 - 15:40 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | SST | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | TIC | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM |
| 15:40 - 16:40 | | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | SST | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | TIC | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM |

FEVEREIRO 2014

| Horário | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3-fev | 4-fev | 5-fev | 6-fev | 7-fev | | 10-fev | 11-fev | 12-fev | 13-fev | 14-fev | | 17-fev | 18-fev | 19-fev | 20-fev | 21-fev | | 24-fev | 25-fev | 26-fev | 27-fev | 28-fev |
| 8:30- 9:30 | | PMSES | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | PMSES | PMSES |
| 9:40-10:40 | | PMSES | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | PMSES | PMSES |
| 10:40 - 11:40 | | PMSES | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | CS | | MAT | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | PMSES | PMSES |
| 12:30 - 13:30 | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | CS | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | PMSES | PMSES | PMSES |
| 13:30- 14:30 | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | PMSES | PMSES | PMSES |
| 14:40 - 15:40 | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | DT1 | PMSES | PMSES | PMSES |
| 15:40 - 16:40 | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | EAM | EAM | EAM | EAM | | EAM | DT1 | PMSES | PMSES | PMSES |

MARÇO 2014

| Horário | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|
| | | 3-mar | 4-mar | 5-mar | 6-mar | 7-mar | | 10-mar | 11-mar | 12-mar | 13-mar | 14-mar | | 17-mar | 18-mar | 19-mar | 20-mar | 21-mar | | 24-mar | 25-mar | 26-mar | 27-mar | 28-mar | | 31-mar |
| 8:30- 9:30 | | MAT | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | LP |
| 9:40-10:40 | | MAT | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | LP |
| 10:40 - 11:40 | | MAT | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | LP |
| 12:30 - 13:30 | | FQ | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES |
| 13:30- 14:30 | | FQ | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES |
| 14:40 - 15:40 | | FQ | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES |
| 15:40 - 16:40 | | FQ | MAT | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES |

ABRIL 2014

| Horário | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|
| | 1-abr | 2-abr | 3-abr | 4-abr | | 7-abr | 8-abr | 9-abr | 10-abr | 11-abr | | 14-abr | 15-abr | 16-abr | 17-abr | 18-abr | | 21-abr | 22-abr | 23-abr | 24-abr | 25-abr | | 28-abr | 29-abr | 30-abr |
| 8:30- 9:30 | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | MAT | PMSES |
| 9:40-10:40 | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | MAT | PMSES |
| 10:40 - 11:40 | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | MAT | PMSES |
| 12:30 - 13:30 | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | MAT | PMSES |
| 13:30- 14:30 | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES |
| 14:40 - 15:40 | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES |
| 15:40 - 16:40 | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | | | PMSES | FQ | PMSES |

MAIO 2014

| Horário | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex |
|---------------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1-mai | 2-mai | | 5-mai | 6-mai | 7-mai | 8-mai | 9-mai | | 12-mai | 13-mai | 14-mai | 15-mai | 16-mai | | 19-mai | 20-mai | 21-mai | 22-mai | 23-mai | | 26-mai | 27-mai | 28-mai | 29-mai | 30-mai |
| 8:30- 9:30 | | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | MAT | MAT | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES |
| 9:40-10:40 | | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | MAT | MAT | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES |
| 10:40 - 11:40 | | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | LP | PMSES | PMSES | MAT | MAT | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES |
| 12:30 - 13:30 | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | MAT | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES |
| 13:30- 14:30 | | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | MAT | LP | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES |
| 14:40 - 15:40 | | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | MAT | LP | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES |
| 15:40 - 16:40 | | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | MAT | LP | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES |

JUNHO 2014

| Horário | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|
| | | 2-jun | 3-jun | 4-jun | 5-jun | 6-jun | | 9-jun | 10-jun | 11-jun | 12-jun | 13-jun | | 16-jun | 17-jun | 18-jun | 19-jun | 20-jun | | 23-jun | 24-jun | 25-jun | 26-jun | 27-jun | | 30-jun |
| 8:30- 9:30 | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | | PMSES | | FQ | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 9:40-10:40 | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | FQ | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 10:40 - 11:40 | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | FQ | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 12:30 - 13:30 | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | SST | SST | | FQ | | | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 13:30- 14:30 | | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | SST | SST | | FQ | | | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 14:40 - 15:40 | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | SST | SST | | FQ | | | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 15:40 - 16:40 | | PMSES | FQ | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | | PMSES | PMSES | PMSES | SST | SST | | | | | FPCT | FPCT | | FPCT |
| 16:40 - 17:40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | FPCT | FPCT | | FPCT |

JULHO 2014

| Horário | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 1-jul | 2-jul | 3-jul | 4-jul | | 7-jul | 8-jul | 9-jul | 10-jul | 11-jul | | 14-jul | 15-jul | 16-jul | 17-jul | 18-jul | | 21-jul | 22-jul | 23-jul | 24-jul | 25-jul | | 28-jul | 29-jul | 30-jul | 31-jul |
| 8:30- 9:30 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 9:40-10:40 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 10:40 - 11:40 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 12:30 - 13:30 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 13:30- 14:30 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 14:40 - 15:40 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 15:40 - 16:40 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |
| 16:40 - 17:40 | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT |

AGOSTO 2014

| Horário | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | |
|---------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 1-ago | | 4-ago | 5-ago | 6-ago | 7-ago | 8-ago | | 11-ago | 12-ago | 13-ago | 14-ago | 15-ago | | 18-ago | 19-ago | 20-ago | 21-ago | 22-ago | | 25-ago | 26-ago | 27-ago | 28-ago | 29-ago | |
| 8:30- 9:30 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9:40-10:40 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10:40 - 11:40 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12:30 - 13:30 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13:30- 14:30 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14:40 - 15:40 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15:40 - 16:40 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16:40 - 17:40 | FPCT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

SETEMBRO 2014

| Horário | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | Sáb | Dom | Seg | Ter |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|--------|--------|
| | | 1-set | 2-set | 3-set | 4-set | 5-set | | 8-set | 9-set | 10-set | 11-set | 12-set | | 15-set | 16-set | 17-set | 18-set | 19-set | | 22-set | 23-set | 24-set | 25-set | 26-set | | | 29-set | 30-set |
| 8:30- 9:30 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 9:40-10:40 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 10:40 - 11:40 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 12:30 - 13:30 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 13:30- 14:30 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 14:40 - 15:40 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 15:40 - 16:40 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | PAF | PAF | | | PAF | PAF |
| 16:40 - 17:40 | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | FPCT | | FPCT | FPCT | FPCT | | | | | | |

OUTUBRO 2014

| Horário | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex |
|---------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1-out | 2-out | 3-out | | 6-out | 7-out | 8-out | 9-out | 10-out | | 13-out | 14-out | 15-out | 16-out | 17-out | | 20-out | 21-out | 22-out | 23-out | 24-out | | 27-out | 28-out | 29-out | 30-out | 31-out |
| 8:30 - 9:30 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9:40-10:40 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10:40 - 11:40 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12:30 - 13:30 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13:30- 14:30 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14:40 - 15:40 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15:40 - 16:40 | PAF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

LEGENDA

| | | | |
|--------|---|-----|---------------|
| LP | Língua Portuguesa | 45 | Sociocultural |
| ING | Inglês | 45 | Sociocultural |
| TIC | Tecnologias de Informação e Comunicação | 35 | Sociocultural |
| CS | Cidadania e Sociedade | 30 | Sociocultural |
| SST | Segurança e Saúde no Trabalho | 40 | Sociocultural |
| MAT | Matemática Aplicada | 45 | Científica |
| FQ | Física e Química | 45 | Científica |
| PMSES | Preparação, montagem e soldadura de elementos simples de estruturas metálicas | 460 | Tecnológica |
| EAM | Montagem e soldadura EAM - 111 de elementos de estruturas metálicas | 280 | Tecnológica |
| DT1 | Desenho técnico 1 | 20 | Tecnológica |
| MAG/FF | Montagem e soldadura MAG/FF - 135/136 de estrutura em aço | 200 | Tecnológica |
| DT2 | Desenho técnico 2 | 30 | Tecnológica |
| PAF | Prova de avaliação final | 35 | - |
| FPCT | FPCT | 360 | - |

ANEXO II – Resultados globais obtidos no processo SER

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|-----------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Cabeça | 0 | 74,57 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 210 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 290 | - | 55,82 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 340 | - | 54,96 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 400 | - | 56,11 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 460 | - | 55,22 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mão (porta-eléttodos) | 0 | 119,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 120 | 20,66 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 170 | 14,82 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 380 | 6,55 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 450 | 5,57 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 490 | 6,89 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Peito | 0 | 92,04 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | 93,32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cabos | 0 | 182,87 | - | 71,11 | - | 70,57 | - | 56,61 | - | 52,69 | - |
| | 0 | 176,81 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 70 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5,53 | - |
| | 80 | 46,85 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 120 | 64,24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 150 | - | - | - | 53,14 | - | - | - | - | - | - |
| | 180 | - | 138,87 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 210 | 18,64 | - | - | 181,54 | - | - | - | - | - | - |
| | 240 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 280 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 300 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 310 | - | - | - | 52,09 | - | - | - | - | - | - |
| | 320 | - | 145,59 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 350 | - | - | - | 52,68 | - | - | - | - | - | - |
| | 370 | 18,05 | - | - | 52,23 | 18,05 | - | - | - | - | - |
| | 430 | - | 455,84 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 440 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5,21 | - |

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Máquina painel lateral | 0 | 110,36 | - | 83,36 | - | 76,38 | - | - | - | - | - |
| | 190 | 12,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 230 | 10,61 | - | 10,37 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pernas | 0 | 102,55 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | - | 94,8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 40 | 101,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 140 | 34,09 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 230 | 18,57 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 260 | - | 54,6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 300 | 10,59 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 340 | - | 55,2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 480 | - | 54,21 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Máquina painel frontal | 0 | 138,87 | - | 101,51 | - | 87,45 | - | 66,45 | - | 56,92 | - |
| | 60 | - | - | - | - | 51,98 | - | - | - | - | - |
| | 110 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 120 | - | - | - | 51,64 | - | - | - | - | - | - |
| | 130 | - | 52,89 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 160 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 170 | - | 54,5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 200 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 240 | - | 52,21 | - | 54,42 | - | - | - | - | - | - |
| | 270 | - | - | - | - | - | 52,45 | - | - | - | - |
| | 280 | 12,87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 310 | - | 52,29 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 330 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 360 | - | - | - | 170,55 | - | 53,4 | - | - | - | - |
| | 410 | - | - | - | - | - | 60,93 | - | - | - | - |
| | 420 | - | 52,11 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 430 | - | - | - | 52,15 | - | - | - | - | - | - |
| | 460 | - | - | - | - | - | 59,21 | - | - | - | - |

Caraterísticas técnicas: Máquina soldadura: ESAB C3000i; U = 20,8 - 23,7V; I = 89,8 – 100A; Eléetrodo: ϕ 2,5 mm² (7018 básico)

ANEXO III – Resultados globais obtidos no processo MAG

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Cabeça | 0 | 86,37 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 28,8 | 36,56 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 57,4 | - | 117,06 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 61,4 | - | 99,96 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 76 | 83,12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 130,4 | 86,28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mão (tocha) | 0 | 244,24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 170,14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 154,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 59,4 | - | 150,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 64,6 | - | 124,12 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 82,4 | - | 105,36 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 136,8 | - | 127,81 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 178,4 | - | 90,68 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Peito | 0 | 116,05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 36,6 | 105,76 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 59,4 | - | 150,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 66,4 | - | 98,91 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 146,4 | - | 92,49 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cabos | 0 | 703,84 | - | 359,57 | - | 116,31 | - | 52,35 | - | 48,39 | - |
| | 0 | 538,11 | - | 294,14 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0 | 536,76 | - | 289,56 | - | - | - | - | - | 5,53 | - |
| | 0 | 519,27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 40 | - | 43,42 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 49 | 66,35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 150 | - | 2,8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 160 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 170 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 440 | - | 1,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Máquina painel lateral | 0 | 57,83 | - | 57,15 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 60 | - | - | - | - | - | 19,23 | - | - | - | - |
| | 270 | - | - | - | 19,63 | - | - | - | - | - | - |

| Posição de medição | Frequência [Hz] | Distância de 1 cm | | Distância de 20 cm | | Distância de 50 cm | | Distância de 1 m | | Distância de 2 m | |
|------------------------|-----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] | B [μ T] | E [V/m] |
| Pernas | 0 | 106,87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 32,2 | 101,97 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 42,6 | 157,82 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 48,2 | - | 238,6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 51,4 | - | 105,65 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 95,2 | 143,29 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 136,8 | 82,64 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 175,2 | 84,84 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 184,8 | 81,76 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Máquina painel frontal | 0 | 505,12 | - | 348,04 | - | 283,49 | - | 37,29 | - | 34,02 | - |
| | 30,2 | 200,06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 33,4 | 146,59 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 35 | 146,26 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 47 | 186,44 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 49 | 195,78 | 129,92 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 52 | - | 127,11 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 57,4 | 124,99 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 60 | - | 147,66 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 62,2 | 111,79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 65 | - | 140,55 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 70 | 60,02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 80,8 | - | 280,65 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 100 | - | 386,77 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 116,8 | 40,86 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 120 | - | 327,73 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 131,6 | 34,33 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 220 | - | 115,23 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 440 | - | 109,54 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 500 | - | 109,48 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Caraterísticas técnicas: Máquina soldadura: ESAB C3000i; U = 20,2 - 20,7V; I = 141,4 – 178,0A; Tipo fio: Fio fluxado; Velocidade do fio: 4,6 m/min.; Gases de proteção: 82% Árgon + 18% CO₂